DIE NATURWISSENSCHAFTEN

17. Jahrgang 19. April 1929 Heft 16

Über den Abfluß in abflußlosen Gebieten und das Klima der Eiszeit in der nordchilenischen Kordillere.

Von Hans Mortensen, Göttingen.

Die Beobachtungen, die im folgenden vorgetragen werden sollen, sind nicht mit der Fragestellung: Klima der Eiszeit gemacht worden und sollten ursprünglich auch nicht in dieser Richtung verwertet werden. Sie haben erst dadurch für dieses Problem Bedeutung erlangt, daß in letzter Zeit die Ergebnisse von Forschungen über das Klima der Eiszeit erschienen sind, die auf die Verhältnisse an der südamerikanischen Westküste eingehen[1] oder aber wenigstens allgemeine Behauptungen über das Klima der Eiszeit aufstellen[2], die sich in den mir bekannten Gebieten Nordchiles nachprüfen lassen. Wir müssen, um das tun zu können, etwas ausholen.

Über den Abfluß in abflußlosen Gebieten.

A. Penck hat in seiner grundlegenden Arbeit über den Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage[3] drei Klimareiche unterschieden, von denen uns zwei, nämlich das humide und besonders das aride, in unserem Zusammenhange interessieren. Als humid bezeichnet er das Klimareich, in dem die Niederschläge durch die Verdunstung nicht aufgezehrt werden können, so daß ein Überschuß in Form von Flüssen abfließt. Im ariden Klimareich ist die Verdunstung so groß, daß mehr Wasser verdunsten könnte, als Niederschläge fallen; das Gebiet ist somit abflußlos bzw. besitzt nur gelegentlichen Abfluß, und regelmäßige Flüsse können nicht gespeist werden (a. a. O. S. 240 und 244). Die Grenze zwischen aridem und humidem Klima (die ,,Trockengrenze“) ist die Linie oder der Saum, wo Verdunstung und Niederschlag gleich sind. Die den Abfluß bestimmende Differenz Niederschlag minus Verdunstung ist wichtig auch für die Bodenbildung: humide Böden als Folge absteigenden, aride Böden als Folge aufsteigenden Bodenwassers, und ebenso wird das Vegetationsbild wie überhaupt die Physiognomie einer Landschaft in entscheidendem Maße davon bestimmt, ob wir uns im humiden Gebiet mit Abfluß oder im ariden Gebiet ohne Abfluß befinden. Übergangsgebiete mit Übergangsklima sind natürlich vorhanden. Die Einteilung, die Klima, Abfluß, Bodenbildung, Vegetation usw. auf einen Generalnenner bringt, hat sich mit Recht schnell allgemeine Anerkennung erworben und wird mehr oder minder ausgesprochen wohl den meisten einschlägigen geographischen Überlegungen zugrunde gelegt. Wir werden im folgenden sehen, daß die Beziehungen zwischen Abfluß und Verdunstung im ariden Klimareich nicht so einfach sind, wie sie im Anschluß an die Einteilung A. Pencks in der Regel angenommen werden.

In *Nordchile* finden wir nämlich ganz merkwürdige Verhältnisse. Für diese Gebiete hat Knoche die ungefähre Verdunstungshöhe bzw. das Niederschlagsdefizit berechnet[1], und ebenso ist uns die ungefähre Niederschlagshöhe aus einer von Edwards und Knoche entworfenen Karte[2] bekannt. Es ist nun zunächst außerordentlich überraschend, daß der Loa, ein die Wüste durchströmender, perennierender Fluß, in Hochgebieten entspringt und genährt wird, die bei einem Niederschlag von höchstens 200 mm einen Verdunstungsüberschuß von mindestens 1000 mm besitzen, in denen also die Verdunstung allermindestens sechsmal so groß ist als der Niederschlag und die somit unbedingt als sehr arid im Sinne der Definition A. Pencks bezeichnet werden müssen, wie man auch aus dem ganzen Landschaftscharakter, günstigstenfalls Halbwüste, erkennen kann. *Zweifelloser Dauerabfluß also in einem im üblichen Sinne ,,abflußlosen“ Trockengebiet!* Wie ist das möglich? Die Antwort wird durch die Beobachtungen unmittelbar gegeben.

Die Niederschläge sind dort selten und kurzdauernd, aber oft sehr heftig. Wären sie der in dem Einzugsgebiet wirkenden Gesamtverdunstung ausgeliefert, so würde es natürlich nicht zu einem Abfluß kommen. Ein Teil des Wassers fließt jedoch sofort *oberflächlich* ab und sammelt sich in größeren Adern. Hier kann die Verdunstung nur proportional der kleinen Oberfläche einer solchen Wasserader angreifen, also in relativ sehr geringem Maße; ein Teil des Wassers wird auch durch Absickern unter der Flußsohle verloren gehen. Die Zwischengebiete sind nun inzwischen jedoch längst vollkommen

[1] F. Klute, Die Bedeutung der Depression der Schneegrenze für eiszeitliche Probleme. Z. f. Gletscherk. 16, 70ff. (1928).

[2] A. Penck, Die Ursachen der Eiszeit. Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., Physik.-math. Kl. **1928**, 76ff. W. Meinardus, Über den Wasserhaushalt der Antarktis, 2. Mitteilung: Der Wasserhaushalt der Antarktis in der Eiszeit. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. **1928**, 137ff. In den drei zitierten Arbeiten vgl. auch die weitere einschlägige Literatur.

[3] Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., **1912**, 236ff.

[1] W. Knoche, Verteilung des Niederschlagsüberschusses bzw. -defizits in Chile. Meteorol. Z. **1923**, 344ff.

[2] Wiedergabe eines Teilausschnittes in H. Mortensen, Der Formenschatz der nordchilenischen Wüste. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. N. F. **12**, 1. Berlin 1927, S. 167.

trocken, und hier kann die an sich hohe Verdunstung sich nun nicht mehr auswirken, weil die Oberfläche, wenn sie einmal abgetrocknet ist, nicht mehr trockener werden kann. Bei genügender Häufigkeit der Niederschläge oder aber bei Ergänzung aus benachbarten, zu dem gleichen Haupttal entwässernden Gebieten, die dann ruhig selten und unregelmäßig Niederschläge haben mögen, kann auf diese Weise ein dauernder Abfluß garantiert werden, obwohl die Verdunstung, auf die Gesamtfläche umgerechnet, die Niederschlagshöhe weit überschreitet.

Verstärkt wird dieser Effekt in sehr wesentlichem, vielleicht entscheidendem Maße dadurch, daß unter günstigen Umständen ein Teil des auf die Fläche fallenden Wassers *einsickert*, ehe es merklich von der Verdunstung aufgezehrt worden ist. Es hängt das übrigens nicht nur von der Durchlässigkeit und Klüftigkeit des Untergrundes ab, sondern sehr stark auch von der Beschaffenheit der Oberfläche. In Gebirgswüsten mit grobem, blockigem Gesteinsdetritus an der Oberfläche wird mehr einsickern als in Gebieten mit feinkörnigem Oberflächenmaterial, in denen das Wasser ohne besonderen Widerstand oberflächlich abfließen kann. Mit dem Einsickern ist, wenn das Wasser nicht allzu dicht unter der Erdoberfläche gestaut wird und kapillar an die Oberfläche gezogen werden kann, das Wasser der Verdunstung teils völlig, mindestens jedoch oft weitgehend entzogen. Auch in diesem Falle findet die hohe Verdunstung an der Oberfläche keinen Angriffspunkt, während im Untergrund das Wasser ungestört und unbeeinflußt durch den hohen Verdunstungswert zirkulieren bzw. als Grundwasserstrom abwandern und an irgendeiner orographisch günstigen Stelle des ariden Raumes als Quelle zutage treten kann. Ist das Einzugsgebiet einer solchen Quelle nicht allzu klein, und sind die Niederschläge nicht allzu selten (so daß also nicht etwa das gesamte eingesickerte Wasser als Quelle ausgetreten ist, bevor neuer Zustrom kommt), so erhalten wir eine perennierende Quelle in einem ariden und somit „abflußlosen“ Gebiet.

Diese Möglichkeit ist nicht etwa nur gedanklich konstruiert, sondern wird durch die Beobachtung bestätigt. Der *Westteil der Puna de Atacama*, d. h. das Gebiet der Kordillere Domeyko und die Ebene östlich von ihr, ist ganz zweifellos nach allen nur möglichen Definitionen sehr arid; nach dem sonst üblichen Maßstabe muß man ihn als Wüste bezeichnen. Nur ganz selten erhält dieses Gebiet Niederschläge, und ebenso treten Nebel kaum auf. Die Verdunstung ist außerordentlich viel größer als die tatsächlichen Niederschläge (nach KNOCHE: Niederschlag < 200 mm; Niederschlagsdefizit 3000—3500 mm; Verdunstung also mindestens sechzehnmal so groß als der Niederschlag!). Und doch haben wir in der Kordillere Domeyko und östlich von ihr eine größere Anzahl *perennierender Süßwasserquellen*. Wenn man den Zahlen KNOCHES, die die große Aridität beweisen, nicht glauben will, so ist mindestens die Tatsache beweisend, daß wir nicht allzu weit von der östlichsten der Quellen ein Salar (d. i. Salzpfanne) haben, und ein solches ist nur möglich in einem Gebiet, wo die Verdunstung an der Oberfläche größer ist als Niederschlag plus Zufluß, wo die Verdunstung also große Werte gegenüber dem Niederschlag besitzen muß. Die entsprechenden Verhältnisse gelten übrigens auch für die östlich gelegene Hochkordillere, wo, nach den Karten zu urteilen, Salare und Quellen nicht selten ziemlich dicht zusammenliegen. Allerdings ist dort, falls man etwa entgegen KNOCHE keineswegs das ganze Gebiet für ein Defizitgebiet hält, immer die Möglichkeit, daß man die Quellen auf Grundwasser aus Niederschlagsüberschußgebieten zurückführt. Für die Quellen der Kordillere Domeyko ist jedoch kein Zweifel, daß es sich um Wasser handelt, das in der Umgebung, also im sehr ariden Raum, gefallen ist. Die Möglichkeit eines unterirdischen Wasserzuflusses von der Hochkordillere kommt nach Lagerung der Gesteine, Höhenlage und Charakter der Quellen überhaupt nicht in Frage.

Als *Ergebnis der bisherigen Betrachtungen* haben wir somit die Tatsache, daß Gebiete, die nach ihrer ganzen Physiognomie und nach ihren klimatischen Verhältnissen arid oder gar extrem arid sind, Nährgebiete von Dauerquellen und stattlichen perennierenden Flüssen sein können und auch in der Tat sind. Wir dürfen also den Begriff „arid“, wenn wir ihn als die Gesamtlandschaft charakterisierend auffassen (und das muß natürlich beibehalten werden), als sicheren Maßstab für die Abflußmöglichkeiten bzw. umgekehrt die Abflußverhältnisse als Maßstab für die Physiognomie der Landschaft nicht benutzen. Das Landschaftsbild wird im Sinne A. PENCKS durch die *mögliche* Verdunstung bestimmt, der Abfluß in wesentlichem Maße durch die *tatsächliche*. Beide sind im ariden Klimareich keineswegs stets auch nur annähernd gleich und hängen auch sicher nicht immer in einer einfachen Proportion zusammen[1].

Über das Klima der Eiszeit in Nordchile.

Wir können nun zum zweiten Teil unseres Themas, der Frage des eiszeitlichen Klimas, übergehen. A. PENCK schließt, insbesondere aus den Verhältnissen im ariden Nordamerika, auf eine eiszeitliche[2] Abkühlung der ganzen Erde von ungefähr 4°, während er andere Schlüsse, also besonders auf größere Niederschläge als Ursache

[1] Abgesehen von den Untergrundverhältnissen und dem Charakter der Niederschläge wird das Relief großen Einfluß haben. Wenig zerschnittenes Gelände neigt zu hohem Grundwasserspiegel mit kapillarem Wasseraufstieg und relativ hoher Verdunstung; dort wird also die tatsächliche Verdunstung der möglichen immerhin einigermaßen nahekommen können. Es ist sicher kein Zufall, daß aride Gebiete anscheinend nur dann Dauerabfluß haben können, wenn sie gebirgig sind.

[2] Unter eiszeitlich sei, wenn nichts anderes bemerkt ist, immer das Klima während der Vereisung gemeint.

der Vereisung, im allgemeinen ablehnt[1], ja sogar geringere Niederschläge postuliert[2]. F. KLUTE kommt, zum Teil mit anderer Beweisführung, zu einem ähnlichen Resultat, gesteht allerdings einer als Folgeerscheinung der allgemeinen Abkühlung jeweils lokal auftretenden Zunahme der Niederschläge wohl einen stärkeren Einfluß als A. PENCK zu[3]. Zu einem etwas anderen Ergebnis ist W. MEINARDUS auf Grund einer sehr genauen Analyse aller Möglichkeiten in der Antarktis gekommen. Für dieses Gebiet, und zwar ausdrücklich nur für dieses Gebiet, hat er eine größere Wärme bewiesen, während sein zweites Ergebnis, die stärkere Luftzirkulation während der Eiszeit, allgemeine Geltung für die ganze Erde beansprucht[4].

Nach den von KLUTE gegebenen Meridionalprofilen der *rezenten und der eiszeitlichen Schneegrenze* haben wir das Bild, daß überall, wo die Niederschläge heute erheblich sind (mit Ausnahme der regenfeuchten Tropen), die eiszeitliche Depression der Schneegrenze sehr groß ist, während sie gering ist in den Trockengebieten, die heute durch eine abnorm hohe Schneegrenze ausgezeichnet sind. Ein solches Verhältnis der eiszeitlichen zur augenblicklichen Schneegrenze, und zwar gerade die geringe eiszeitliche Depression in den Trockengebieten, läßt sich nach KLUTE aus einer universellen Abkühlung erklären[5]. Leider reicht das bisherige Tatsachenmaterial nicht aus, um derartige Schlüsse wirklich als erwiesen zu betrachten, und an der einzigen Stelle, wo eine exakte Analyse durchgeführt worden ist, nämlich in der Antarktis, hat MEINARDUS bezüglich Temperatur und Verdunstung, deren angeblich geringeres Maß KLUTE als die wichtigste Ursache der in der Eiszeit stärkeren antarktischen Vergletscherung auffaßt, gerade das Gegenteil bewiesen, nämlich einen größeren Betrag von Temperatur und Verdunstung (vgl. oben). Auch wenn man im übrigen zugibt, daß sich die Beobachtungstatsachen durch eine universelle Abkühlung erklären *lassen*, so ist damit noch lange nicht sicher, daß sie auch so erklärt werden *müssen*. Wennzwar ich den Nachweis einer Abkühlung in einzelnen vereist gewesenen Gebieten der Erde nicht anzweifeln will und ebenso es mit KLUTE für wahrscheinlich halte, daß nur *eine* Ursache für die Vereisung in Frage kommen dürfte, so halte ich es doch für möglich und sogar wahrscheinlich, daß eine Ursache, z. B. die erwähnte Steigerung der Luftzirkulation, sich in verschiedenen Gebieten verschieden auswirken kann, in dem einen Gebiet vorwiegend in einer Temperaturabnahme, in dem anderen vorwiegend in einer Feuchtigkeitszunahme. Vorläufig wäre ein solcher Nachweis jedoch auch nur hypothetisch, und ich möchte darauf verzichten, um lieber in den mir bekannten Gebieten die Tatsachen sprechen zu lassen.

[1] Die Ursachen der Eiszeit a. a. O. S. 83f.
[2] A. a. O. S. 84.
[3] Die Bedeutung der Depression usw. a. a. O. S. 85ff.
[4] Wasserhaushalt a. a. O. S. 170f.
[5] A. a. O. S. 81f. und 84.

Zwei Beobachtungstatsachen gestatten uns nach unserer heutigen Kenntnis Schlüsse auf das eiszeitliche Klima in der nordchilenischen Kordillere: die *Senkung der Schneegrenze* (nach KLUTE ca. 500 m) und die *Zunahme der Wassermengen unterhalb der Schneegrenze*. Für die in den nördlichen Randgebieten der Trockenregion bemerkbare Zunahme der Wassermengen unterhalb der Schneegrenze stützt sich KLUTE auf die Beobachtungen TROLLS am Lago Poopo mit seinem diluvial höheren Wasserstand. Wir können als weiteres Beispiel dafür noch die großen Täler nennen, die im Tacnagebiet von der Hochkordillere nach Westen zum Meere gehen. Übereinstimmend lassen diese stellenweise viele Kilometer breiten Täler und die großen, in ihnen zur Ablagerung gelangten Schottermassen eine früher, und zwar offensichtlich im Diluvium, enorm gesteigerte Wasserführung erkennen[1]. Übrigens sind die größeren Wassermengen unterhalb der Schneegrenze nicht nur in den Randgebieten zu beobachten, sondern auch mitten im Zentrum des trockenen Hochgebietes. Nicht nur die Terrassen des Loa-Fremdlingsflusses[2] mit seinen riesenhaften diluvialen Ablagerungen[3], sondern auch die diluvialen Quellmulden am Westabfall der Kordillere Domeyko mit den in ihnen liegenden Schottern[4] lassen das mit Bestimmtheit erkennen. In der Mittelkordillere östlich Toco hat WEZTEL ebenfalls eine merklich stärkere diluviale Quelltätigkeit und einen stärkeren Abfluß im Diluvium festgestellt[5].

Die Frage ist nun wie überall die, ob wirklich die größeren Abflußmengen eine Folge der Temperaturabnahme und der stellenweise damit verbundenen Niederschlagszunahme sind oder ob nicht vielmehr die Niederschlagszunahme das Entscheidende, die mögliche Abkühlung nur Begleiterscheinung ist.

Würden wir nur die *Depression der Schneegrenze* berücksichtigen, so könnten wir, auch wenn wir eine Niederschlagszunahme für wahrscheinlicher halten, gegen eine Erklärung durch Temperaturabnahme nichts Wesentliches einwenden. Wie die Bedingungen von Niederschlag, Abfluß und Verdunstung auch sein mögen, soviel ist sicher, daß unmittelbar an der unteren Grenze des ewigen Schnees (falls wir überhaupt von einer richtigen „Schneegrenze“ in der nordchilenischen Kordillere

[1] H. MORTENSEN, Der Formenschatz usw. a. a. O. S. 118, 133.
[2] H. MORTENSEN, Der Formenschatz usw. a. a. O. S. 10 und 18.
[3] W. WETZEL, Beiträge zur Erdgeschichte der mittleren Atacama. N. Jb. f. Min. usw. Beilageband **58**, Abt. B (Pompeckj-Festband) **1927**, 553ff.
[4] H. MORTENSEN, Der Formenschatz usw. a. a. O. S. 117f.
[5] Zuletzt W. WETZEL, Geologische und geographische Probleme des nördlichen Chile. Z. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin **1928**, 280; vgl. dazu auch H. MORTENSEN, Über Vorzeitbildungen und einige andere Fragen in der nordchilenischen Wüste. Mitt. d. Geograph. Ges. in Hamburg **1929**, 218.

sprechen dürfen) die Temperaturerniedrigung, wenn die anderen Faktoren ungefähr gleich bleiben, das Abzehren des Schnees aufhalten und die Schneegrenze herabrücken müßte, so daß wir für die Depression der Schneegrenze die Abkühlung ebenso verantwortlich machen dürfen wie eine andere Änderung eines klimatischen Faktors.

Anders wird es jedoch, wenn wir die *Abflußverhältnisse* in Betracht ziehen. Es trifft nämlich nicht zu, daß Temperaturerniedrigung in unserem Gebiet den Abfluß steigert. KLUTE (a. a. O. S. 87ff.) führt die Zunahme der Wassermengen in der Hauptsache auf ein stärkeres Abschmelzen infolge der stärkeren Vereisung und auf eine geringere Verdunstung infolge der allgemeinen Temperaturerniedrigung zurück. In den höheren Teilen der äquatorialen und polaren Seite des Trockengürtels sei überdies die Niederschlagsmöglichkeit und die Niederschlagshäufigkeit (Zone der maximalen Niederschläge) infolge der Temperaturerniedrigung herabgerückt. Die größeren Wassermengen im Vorgelände hätten dann lokalklimatisch zu einer weiteren Verstärkung der Luftfeuchtigkeit und damit der Niederschläge geführt.

Von diesen Gründen ist wirklich stichhaltig nur die Herabrückung der Niederschlagszone in den Randgebieten; dieser Grund verliert dadurch an entscheidender Bedeutung, daß auch in den zentralen Gebieten die Abflußmengen so stark gesteigert waren, obwohl hier die Herabrückung der Zone maximaler Niederschläge kaum eine Rolle gespielt haben kann (vgl. Anm. 2). Im übrigen muß man meines Erachtens die Verhältnisse ganz anders betrachten. Heute ist nach den eingangs gemachten Ausführungen die Sachlage die, daß in den zur Diskussion stehenden Trockengebieten ein Abfluß nur dadurch zustande kommt, das die starke Verdunstung sich nicht voll auswirken kann, weil die Niederschläge vorher abfließen oder versickern, d. h. auf jeden Fall nicht auf der Gesamtoberfläche bleiben. Würde sich die Temperatur heute senken, z. B. um die von KLUTE und PENCK angenommenen 4—5°, so würde allerdings die Verdunstung etwas gemindert werden. Erheblich kann diese Minderung jedoch kaum sein, da wir sonst einen erheblich größeren Unterschied der Verdunstungswerte zwischen den kalten höheren und den wärmeren tieferen Lagen in Nordchile haben müßten, als ihn die Karte des Niederschlagsdefizits (KNOCHE, a. a. O.) zeigt[1].

Der durch die Abkühlung bewirkten Verringerung der Verdunstung, die sich naturgemäß in einer relativen Vermehrung der abfließenden Wassermengen auswirken müßte, steht jedoch ein *anderer Effekt* gegenüber, der die Verdunstungsabnahme illusorisch macht. Durch die Abkühlung fällt ein wesentlich größerer Teil als Schnee und bleibt ein wesentlich größerer Teil dieser Schneeniederschläge erheblich länger liegen als bei den augenblicklichen Temperaturverhältnissen. Wir können rückschließend aus den heutigen Verhältnissen annehmen, daß es während der Eiszeit im Winter überhaupt kaum mehr zu einem Abschmelzen gekommen wäre und auch im Sommer nur in sehr geringem Maße[2]. Damit werden die fallenden Niederschläge nicht mehr, wie es für die Möglichkeit des Abflusses nötig war, in der Hauptsache der Verdunstung entzogen, sondern im Gegenteil der Verdunstung besonders lange ausgesetzt. Die kleine Verdunstungsminderung, die durch die Abkühlung bewirkt wird, wird also durch die Verlängerung der Exposition gegenüber der Verdunstung weitaus aufgehoben. Denn das Mißverhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung bleibt ja, besonders in den zentralen Gebieten der Hochregion, immer noch riesengroß; bei Gleichbleiben der Niederschlagsmengen würde die Verdunstung immer noch mindestens zehnmal so groß sein als die Niederschläge[3].

KLUTE selbst beschreibt vom *Kilimandscharo*, daß am Schmelzwasser der Gletscher und des Schnees (und natürlich auch am Schnee und Eis selbst) die Verdunstung so stark zehrt, daß es zu einem Abfluß kaum komme. Er hebt hervor, daß die dortigen Gletscher im Vergleich mit entsprechend großen alpinen einen auffallend geringen

---

[1] Nach Abschluß des Entwurfes zu vorliegendem Aufsatz machte mir Herr Professor MEINARDUS gelegentlich einer Unterhaltung über diese Fragen das Manuskript eines Aufsatzes von Dr. W. KNOCHE über die Verdunstung auf Gletschern zugänglich (voraussichtlich erscheinend in Z. f. Gletscherk. 1929), der sich zu einem Teil in der gleichen Richtung bewegt wie die folgenden Ausführungen, insbesondere auch sehr wichtiges Zahlenmaterial für unsere Fragen enthält. Herr Dr. KNOCHE hat u. a. für verschiedene Meereshöhen, Temperaturen, Feuchtigkeitsgehalte der Luft und Windgeschwindigkeiten die Verdunstungswerte berechnet und in einer Tabelle zusammengefaßt. Durch Interpolation der Tabellenwerte läßt sich ungefähr abschätzen, daß die Verdunstungsminderung bei einer Temperaturerniedrigung von 5° annähernd $^1/_3$—$^1/_4$ betragen würde. Man kommt also auf Verdunstungswerte von $^2/_3$—$^3/_4$ des ursprünglichen Betrages.

[2] Collahuasi, Meereshöhe 4800 m, also weit unterhalb der heutigen Schneegrenze gelegen, hat nach KNOCHE eine Jahresmitteltemperatur von — 8°. In der Nähe der augenblicklichen Schneegrenze würde man die Jahresmitteltemperatur unter Benutzung der von KNOCHE gegebenen Zahlen (Z. f. Gletscherk.; vgl. Anm. 1) über die Temperaturabnahme mit der Höhe auf — 13° schätzen müssen, und viel anders dürfte man die Temperatur an der eiszeitlichen Schneegrenze auch nicht annehmen, wenn man mit KLUTE die Temperaturabnahme für das Maßgebliche hält.

[3] Auch wenn man, über KLUTE hinausgehend, für die zentralen Gebiete ebenfalls eine Senkung der Niederschlagszone in Betracht zieht, also z. B. eine Verdoppelung der eiszeitlichen Niederschläge gegenüber dem heutigen Zustande annimmt, würde man immer noch auf ein Verhältnis von mindestens 5 : 1 für Verdunstung und Niederschlag kommen.

Abfluß haben, was er auf die niedrige Temperatur und die große Verdunstung zurückführt[1]. Fast ähnlich sind nach meinen Beobachtungen die Verhältnisse sogar schon an manchen Gletschern des immerhin merklich feuchteren Mittelchile. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß auch in diesen Gebieten der Abfluß bei Temperaturerhöhung vermehrt, bei Senkung vermindert werden würde.

Auch in Deutschland ist ja bekannt, daß lange liegender Schnee, also kaltes Wetter nach Schneefall im Winter, die Verdunstung steigert und die Hochwassergefahr mindert. Nur kann in unseren Breiten, selbst wenn sämtliche Niederschläge als Schnee fallen und liegen bleiben würden, die Verdunstung den Schnee nie völlig aufzehren, so daß es bei uns in Deutschland auf jeden Fall zu einer winterlichen Aufspeicherung des Schnees und im Frühjahr zu einer verstärkten Wasserführung kommt. Ähnlich liegen wahrscheinlich die Verhältnisse in denjenigen Gebirgen oberhalb eines Wüstengebietes, in denen sich winterlicher Schnee wirklich anhäufen kann und die dann im Sommer ein Feuchtigkeitsreservoir sein können. Wo jedoch die Verdunstung den Niederschlag so stark übertrifft wie in Nordchile, besonders im zentralen Teil der Hochregion, würde der Schnee bzw. das auftretende geringe Schmelzwasser so gut wie restlos durch die Verdunstung aufgezehrt werden, die Gesamtabflußmenge also durch die Abkühlung herabgesetzt werden, wenn man eben nicht eine ganz erhebliche Zunahme der Niederschläge zugesteht.

Wenn somit die Betrachtung allein der Depression der Schneegrenze noch die Möglichkeit offenließ, nur an eine Abkühlung als das wesentliche Agens der Vereisung zu denken, so zwingt uns die Heranziehung der *trotz vermehrter Verdunstung außerordentlich gesteigerten Abflußmengen* unbedingt dazu, eine um so erheblichere Vermehrung der Niederschläge als entscheidend anzusehen. Daß diese Vermehrung nicht, und damit kommen wir zum zweiten Teile der diesbezüglichen Beweisführung KLUTES, etwa lokalklimatisch bedingt sein kann, geht aus meinen Ausführungen hervor; denn die Voraussetzung zu einer solchen lokalklimatisch bedingten Niederschlagsvermehrung sind ja die größeren Abflußmengen, und diese würden ja, wie nachgewiesen, gar nicht entstehen können bei einer einfachen Abkühlung. Im übrigen würde eine lokal bedingte Vergrößerung der Luftfeuchtigkeit bei der Eigenart der Klimaverhältnisse im ariden Nordchile die an Ort und Stelle fallenden Niederschläge gar nicht wesentlich beeinflussen können (vgl. unten S. 250).

Es wäre vielleicht möglich, da die Datierung der den großen Abflußmengen zuzuschreibenden Formen vorerst noch nicht sehr genau sein kann, diese Formen den großen Schmelzwasserwirkungen *am Schlusse einer Vereisung* bzw. dem Beginn einer Interglazialzeit zuzuschreiben. Eine solche Deutung wäre jedoch höchst unwahrscheinlich und ist auch von KLUTE nicht versucht worden. Wenn man das Verhältnis von Verdunstung und Niederschlag, wie wir es oben dargelegt haben, berücksichtigt, können die Schneemassen, die während einer Vereisung aufgespeichert worden sind, nie sehr erheblich gewesen sein. Weite Flächen oberhalb der Schneegrenze werden ebenso wie heute keine Dauerschneedecke getragen haben, eben weil die Verdunstung zu stark angegriffen haben muß. Einen Größenvergleich mit dem norddeutschen oder dem alpinen Eise würde eine solche Vereisung, wohl auch nach Ansicht KLUTES, bei weitem nicht aushalten. Andererseits müssen nach dem gewaltigen Ausmaß der Formen die Abflußmengen in den zur Diskussion stehenden Gebieten selbst unter Berücksichtigung der stärker formenden Wirkung infolge des stärker intermittierenden Charakters wesentlich größer gewesen sein als in den genannten europäischen Gebieten. Hier würde also schon ein Widerspruch klaffen. Einen *Beweis* dafür, daß ein Nacheinander von Vereisung und verstärktem Abfluß unwahrscheinlich ist, können wir in den Gebieten führen, wo ein diluviales Eis- oder Schneereservoir zweifellos nicht vorhanden gewesen ist. In der Kordillere Domeyko ist es infolge der niedrigen Höhenlage (bis 4600 m) entweder überhaupt nicht oder aber zu einer sehr geringen, aus einer einzigen Karform[1] zu vermutenden Vereisung gekommen. Und trotzdem haben wir hier eine besonders starke diluviale Quelltätigkeit. Diese Quellen können somit bestimmt nicht auf das am Ende der Vereisung abschmelzende Wasser zurückgeführt werden, zumal auch in denjenigen Teilen der Kordillere Domeyko diluviale Quellen an der Westseite bestanden haben, wo am Ostabhang keine Kare vorhanden sind, ewiger Schnee also bei der niedrigen Höhenlage nicht gelegen und die Quellen nicht beliefert haben kann. Auch die Mittelkordillere östlich Toco, für die WETZEL eine starke diluviale Quelltätigkeit und starken Abfluß nachgewiesen hat (vgl. oben S. 247), ragt nur gerade isoliert in die Hochregion auf und hat sich zur Eiszeit ebenfalls zweifellos weit unterhalb der Schneegrenze befunden. Auch dort lassen sich somit die größeren Abflußmengen nicht auf Schmelzwirkung am Schlusse der Eiszeit zurückführen.

Wir kommen nicht darum herum, *für unser Gebiet gesteigerte Niederschläge als den wichtigsten klimatologischen Faktor für die Vereisung* anzunehmen, und nicht eine Senkung der Temperatur. Eine solche Niederschlagssteigerung würde die Depression der Schneegrenze und gleichzeitig die Vermehrung des Abflusses verständlich machen; sie reicht also zur Erklärung der Tatsachen völlig aus. Allerdings ist eine gleichzeitige Temperatur-

[1] F. KLUTE, Ergebnisse der Forschungen am Kilimandscharo 1912. S. 115. Berlin 1920.

[1] H. MORTENSEN, Der Formenschatz usw. a. a. O. S. 117. Nicht mit Unrecht hat KLUTE diese eine, offensichtlich stark orographisch bestimmte Karbildung nicht zur Konstruktion seiner wesentlich höher gezeichneten Schneegrenze herangezogen.

senkung nicht unmöglich, wie wir gleich sehen werden. Sie ist jedoch zum Verständnis der Beobachtungstatsachen, wie gesagt, nicht nötig, und noch weniger darf sie als bestimmende Vorbedingung der Vereisung angesehen werden.

Fragen wir uns, *wie die Niederschlagszunahme während der Eiszeit*, wenn eine Temperaturabnahme nicht verantwortlich gemacht werden darf, *zustande gekommen ist*, so können wir Sicheres so lange nicht sagen, bis wir für unser Gebiet eine ähnlich genaue Analyse durchführen können wie MEINARDUS für die Antarktis. Im Augenblick sehe ich noch keinen gangbaren Weg in dieser Richtung. Einen Anhalt haben wir in der einzigen bisher für die ganze Erde bewiesenen Gesetzmäßigkeit, daß die Luftzirkulation während der Eiszeit gesteigert war, und zwar nicht nur lokal auf der Nordhalbkugel (dort als Folge einer universellen Abkühlung), wie es KLUTE schlüssig abgeleitet hat, sondern auch auf der Südhalbkugel, wo man die Beweisführung KLUTES nicht anwenden kann.

Auf der Nordhalbkugel kann man, ohne widerlegt werden zu können, tatsächlich schließen: Abkühlung, Vereisung der höheren Breiten, Verstärkung der Luftzirkulation. Auf der Südhalbkugel dürfen wir schon deshalb nicht so schließen, weil eine Abkühlung überhaupt keine stärkere Vereisung der *Antarktis* hervorgerufen haben würde (vgl. MEINARDUS a. a. O. S. 156). Die immerhin noch gerade denkbare Schlußfolge: universelle Abkühlung, verstärkte Vereisung der Antarktis, Zunahme der Zirkulation und schließlich wieder Erwärmung der Antarktis nebst weiterer Verstärkung der Vereisung, womit man die Ergebnisse von MEINARDUS zur Not in gewissen Einklang mit den entgegenstehenden Ansichten bringen könnte, ist somit nicht erlaubt. Wir müssen an der verstärkten Luftzirkulation als dem nach unserer bisherigen Kenntnis primären Faktor der Klimaänderung festhalten.

Eine *verstärkte Luftzirkulation* muß natürlich in die nordchilenischen Hochgebiete größere Niederschläge hereingebracht haben, und zwar werden besonders auch die Unregelmäßigkeiten der Wetterlage, die ja fast die einzigen Niederschlagsbringer in unserem Gebiet sind, merklich häufiger gewesen sein[1].

Daß durch die verstärkte Luftzirkulation die Verdunstung in Nordchile erheblich gesteigert wurde, so daß wir auf diese Weise eine den Tatsachen widersprechende Verminderung des Abflusses erschließen müssen, trifft in dieser Form nicht zu. Denn es ist selbstverständlich möglich und wahrscheinlich, daß durch die verstärkte Luftzirkulation die Verdunstung weniger stark gesteigert wurde als der Niederschlag, wie es genau in der gleichen Weise in der Antarktis der Fall gewesen ist.

Im übrigen halte ich es überhaupt nicht für nötig, daß die verstärkte Luftzirkulation die Verdunstung in den Hochgebieten *merklich* gesteigert haben muß. Wir kommen damit zu einer Frage, die für die Beurteilung der diluvial bestimmten Morphologie des ariden Nordchile von großer Bedeutung ist. Das Klima der dortigen Hochgebiete setzt sich nämlich, wenn man so will, aus zwei Wetterlagen zusammen. Die *normale Wetterlage* ist in den höheren Gebieten verbunden mit ziemlich erheblicher Lufttrockenheit, geringer oder gar keiner Bewölkung und dem völligen Fehlen von Niederschlägen. Dieses Fehlen von Niederschlägen ist besonders auffallend, weil in den höheren Lagen Westwinde bei weitem alle anderen Winde an Stärke und Häufigkeit überwiegen, man also Steigungsregen immerhin erwarten könnte. Tatsächlich sind die Niederschläge jedoch bedingt durch vorübergehende und kurzdauernde Störungen jener im übrigen mit ermüdender Gleichmäßigkeit das ganze Jahr über dauernden Wetterlage.

Bei den *Störungen*, die man als die zweite Wetterlage bezeichnen kann, handelt es sich um mehr oder minder katastrophale Lufteinbrüche, die ihren Ursprung wahrscheinlich zu einem großen Teil außerhalb unseres kleinen Gebietes haben. Es ist nun meines Erachtens durchaus möglich, daß während der Eiszeit infolge der universell gesteigerten Luftzirkulation diese Einbrüche mit den begleitenden Niederschlägen häufiger gewesen sind, während die normale, mehr lokal bestimmte Schönwetterlage grundsätzlich die gleiche blieb, so daß der Jahreswert der Verdunstung und auch der meisten anderen klimatologischen Faktoren, vorwiegend bestimmt durch die normale Wetterlage, keine große Änderung erlitten zu haben braucht[1]. Aus diesem Nacheinander der beiden Wetterlagen und dem starken Vorherrschen der Schönwetterlage ist auch unmittelbar verständlich, daß eine lokalklimatisch bedingte Zunahme der Luftfeuchtigkeit die Niederschläge kaum beeinflußt haben dürfte. Der Hauptteil der lokalklimatisch bedingten Luftfeuchtigkeit war längst mit den entsprechenden Luftmassen aus unserem Gebiet herausgebracht, ehe es zu einem Niederschlag, bei dem sich die Luftfeuchtigkeit hätte auswirken können, kam.

Völlig die gleiche wie heute braucht allerdings auch die *normale Wetterlage* während der Eiszeit nicht gewesen zu sein, und zwar besonders in den niederen Lagen, aber auch möglicherweise in den Hochgebieten. KLUTE leitet für die Nordhalbkugel in interessanter Weise ab, daß der Golfstrom wirksamer gewesen sei infolge der (für die Nordhalb-

[1] Es ist in unserem Gebiet keineswegs nötig, die größere Feuchtigkeit aus einer Erwärmung erklären zu müssen, wie es KLUTE (Über die Ursachen der letzten Eiszeit. Geogr. Z. **1921**, 201) allgemein für nötig hält. Das Vorhandensein einer stärkeren Luftzirkulation genügt durchaus. Wodurch nun diese Verstärkung hervorgerufen worden ist, ist eine weitere Frage, die noch der endgültigen Beantwortung harrt.

[1] Mit sehr ähnlicher Beweisführung hat KNOCHE (Z. f. Gletscherk. **1929**) den Nachweis erbracht, daß in Nordchile Niederschläge und Luftfeuchtigkeit nicht so gekoppelt sind, wie es KLUTE allgemein behauptet.

kugel aus der Vereisung abzuleitenden) stärkeren Luftzirkulation; dieseMeeresströmung habe größere Geschwindigkeit besitzen müssen und mehr Wärme und Feuchtigkeit in die gemäßigtenGebiete geführt. Ganz entsprechend können wir für die kalte Meeresströmung an der südamerikanischen Westküste schließen. Die eiszeitlich stärkere Luftzirkulation, die sich in einer Verstärkung der Westwinde in den gemäßigten Breiten und des Südostpassats in der heißen Zone ausgedrückt haben dürfte, hat den kalten Perustrom sicher beschleunigt. Ein Sinken derWassertemperatur war damit verbunden. In Nordchile dürfte diese Abkühlung noch dadurch verstärkt worden sein, daß das kalte Auftriebwasser gleichzeitig stärker aufgetreten sein muß. Wenn wir noch hinzunehmen, daß das Nährgebiet des Perustromes, die zirkumpolare Strömung, durch das stärkere Auftreten von Eisbergen ebenfalls eine geringere Wassertemperatur besessen haben muß, so ist offensichtlich, daß während der Eiszeit die Temperatur des Meeres an der amerikanischen Westküste wesentlich tiefer gelegen haben dürfte als heute.

Wie nun heute der kalte Perustrom ein starker Mitgrund für die normale Regenlosigkeit des Wüstengebietes ist, so damals in nicht geringerem Maße. Die *normale* Wetterlage *kann* sich also während der Eiszeit kaum durch größere Feuchtigkeit der Luft und durch größere Niederschläge ausgezeichnet haben. Nur die Lufttemperatur in den niederen Meereshöhen dürfte niedriger gewesen sein als heute. Nimmt man für die Eiszeit dieselbe Temperaturabnahme vom Meeresspiegel bis zu den Hochgebieten an wie heute, so *kann* man sagen, daß in der Eiszeit die Temperatur auch der Hochregion möglicherweise niedriger gewesen sein mag als heute. Nötig ist eine solche Vermutung jedoch nicht. Denn auch heute scheint die Temperatur des Inneren (vom Ostabhang der Küstenkordillere an gerechnet) ziemlich unabhängig von der Temperatur an der Küste zu sein, und eher durch die unmittelbare Sonnenbestrahlung bestimmt zu werden; zum mindesten ist von einer normalen Temperaturabnahme mit der Höhe keine Rede (Beispiel: mittlere Jahrestemperatur von Antofagasta, 5 m Meereshöhe, 17,6° und Calama, 2250 m Meereshöhe, 13,2°). Es ist also auch in der Eiszeit möglich, daß die niedrigeren Temperaturen an der Küste sich für das Innere kaum oder gar nicht ausgewirkt haben. Auch wenn wir jedoch eine durch den kühleren Perustrom verursachte Temperaturerniedrigung in den Hochgebieten für diskutabel halten, müssen wir festhalten, daß sie nur als Folge der gesteigerten Luftzirkulation denkbar erscheint, keineswegs aber die oben postulierte Zunahme der Niederschläge bewirkt haben kann. Als primäre Ursache der Vereisung darf sie also auf keinen Fall aufgefaßt werden.

Die dargelegten eiszeitlichen Klimaverhältnisse stimmen mit dem morphologischen Befund in den niederen Lagen ausgezeichnet überein. Wir haben dort die Tatsache, daß autochthone Vorzeitformen anscheinend völlig fehlen, müssen also annehmen, daß das Gebiet keine Pluvialzeit erlebt hat[1], während in den Hochgebieten, wie erwähnt (s. oben S. 247), alle Anzeichen für eine diluvial viel stärkere Wassertätigkeit sprechen. Dieser zunächst sehr auffallende Befund, daß in den niederen Lagen die Vorzeitformen fehlen, ist festgestellt und veröffentlicht worden, ehe ich genauere Vorstellungen über das eiszeitliche Klima hatte. Er ist aus dem oben Dargelegten unmittelbar verständlich: das Gebiet ist damals, da der Perustrom mindestens ebenso wirksam war wie heute, ebenso Wüste gewesen wie heute. Möglich ist es natürlich auch in den niederen Lagen, daß die universell verstärkte Luftzirkulation die heute *sehr* seltenen Niederschlagskatastrophen zu einer etwas weniger seltenen Erscheinung gemacht hat. Im Landschaftsbilde hat sich diese möglicherweise vermutbare geringe Häufigkeitszunahme der Niederschlagskatastrophen naturgemäß nicht ausdrücken können[2]. Wir können somit auch die morphologischen Verhältnisse in den niederen Lagen als eine gute Bestätigung unserer Ansichten über das Klima der Eiszeit in Nordchile betrachten.

Ergebnisse.

1. Stark aride („abflußlose“) Gebiete mit hohem Niederschlagsdefizit können *perennierenden* Abfluß haben, wenn die Niederschläge der Verdunstung schnell genug entzogen werden.

2. In derartigen Gebieten braucht, wenn die Temperaturen genügend tief liegen, Abkühlung nicht eine Steigerung des Abflusses zu bewirken, sondern kann, da die schneeigen Niederschläge der Verdunstung besonders lange ausgesetzt sind, eine Verringerung des Abflusses zur Folge haben.

3. Im trockenen Hochgebiet Nordchiles haben wir diese Verhältnisse. Dort kann eine einfache Abkühlung mit ihren Folgeerscheinungen nicht die Senkung der diluvialen Schneegrenze und zugleich die erhebliche Steigerung des Abflusses bewirkt haben.

4. Die für die Eiszeit in Nordchile zu fordernde Zunahme der Niederschläge ist wahrscheinlich eine Begleiterscheinung der von MEINARDUS bewiesenen universellen Verstärkung der Luftzirkulation. Eine Temperaturerniedrigung ist als Folge der verstärkten Luftzirkulation in Nordchile ebenfalls möglich, wenn auch nicht sicher. Zur Erklärung der Beobachtungstatsachen ist die Temperaturerniedrigung weder nötig noch ausreichend; als primärer Faktor der Vereisung kommt sie nicht in Frage.

---

[1] H. MORTENSEN, Der Formenschatz usw. a. a. O. S. 38, 41, 116ff.

[2] Vgl. dazu die entsprechenden Ausführungen in H. MORTENSEN, Über Vorzeitbildungen usw. a. a. O. S. 219f.

Neue Wege und neue experimentelle Hilfsmittel der Atomchemie.

Von ERNST BRÜCHE, Berlin.

(Aus dem Forschungs-Institut der AEG)

Die Atomchemie soll die Brücke zwischen den Forschungsergebnissen der Atomphysik und dem Tatsachenmaterial der Chemie bilden. Ihre Aufgabe ist es, nicht nur die Physik des einzelnen Atoms, sondern vor allem die Änderungen im Bau des betrachteten Atoms zu erforschen, die beim Zusammenschluß mehrerer Atome stattfinden (7)[1]. Die Atomchemie behandelt also die *verbundenen* Atome, das eigentliche Grundmaterial der Chemie.

Zwischen der Chemie und der Physik bestand vor nicht allzu langer Zeit auf diesem Gebiet der Grundlagen kein rechter Zusammenhang. Der Physiker war damit beschäftigt, die an sich schon komplizierten Zustände einzelner Atome zu ergründen, während der Chemiker mit den Begriffen: Wertigkeit, Bindung und unter Benutzung schematischer Strukturformeln praktischen Bedürfnissen zu entsprechen suchte. — Neuerdings erst — nach Erlangung grundlegender Erkenntnis über das Atom — ist man von chemischer wie von physikalischer, von theoretischer wie von experimenteller Seite dazu übergegangen, Wege zur Schließung dieser Lücke zu suchen.

Einen dieser Wege bildet die Betrachtung des chemischen Tatsachenmaterials unter *physikalischen* Gesichtspunkten, wobei naturgemäß neben anderen die gasförmigen chemischen Verbindungen infolge der bei ihnen noch relativ einfachen Verhältnisse bevorzugt werden. Die physikalischen Eigenschaften, die zu diesem Zwecke herangezogen und verglichen werden, sind: „Größe" und „Feldwirkung", wobei die Feldwirkung das allgemeinere darstellt, die Größe also mit umfaßt. Bei den Gasen kann die „Größe" aus den gaskinetischen Daten und der VAN DER WAALSschen Volumenkorrektur abgeleitet werden; ferner erlauben Verdampfungswärmen, Siedepunkte, VAN DER WAALS Druckkorrektur dann ebenfalls Schlüsse, wenn der Einfluß einer asymmetrischen Ladungsverteilung, d. h. der Einfluß von Dipolmomenten nicht vorhanden oder nicht bemerkbar ist. Für allgemeinere Vergleiche kommen außer den genannten Größen noch Refraktionsdaten, Dipolgrößen und anderes in Frage.

An die Seite dieser experimentellen Methoden sind jetzt weitere getreten, die noch allgemeiner Aussagen über die Art und Größe der Feldwirkung von Molekeln erlauben. Es sind das die Methoden, die Molekelkraftfelder unmittelbar dadurch zu sondieren, daß man Elektronen bestimmter Geschwindigkeit durch die Felder hindurchfliegen läßt und aus den eintretenden Wechselwirkungen auf die Felder rückschließt (9). Neben den Untersuchungen der Bandenspektren, die zu Aussagen über die energetischen Verhältnisse (Dissoziationsarbeiten) führen, haben hier die Untersuchungen des wirksamen oder Wirkungsquerschnittes der Molekeln eine besondere Ausbildung erfahren. Bei dieser Methode, die des weiteren besonders ins Auge gefaßt werden möge, legt man den Querschnitt desjenigen Kraftfeldbereichs zahlenmäßig fest, der auf die Sondenelektronen irgendwie einwirkt. Trifft ein Elektron diesen „Wirkungsbereich" der Molekel, so wird es in seiner Richtung, seiner Geschwindigkeit oder in beiden geändert, während es außerhalb keine merkbare Einwirkung mehr erfährt. Für jede Geschwindigkeit der Sondenelektronen erhalten wir so *einen* Wirkungsquerschnitt, deren Gesamtheit sich zur Wirkungsquerschnittskurve zusammenschließt (10, 11). In Fig. 1 ist eine derartige Kurve, und zwar die

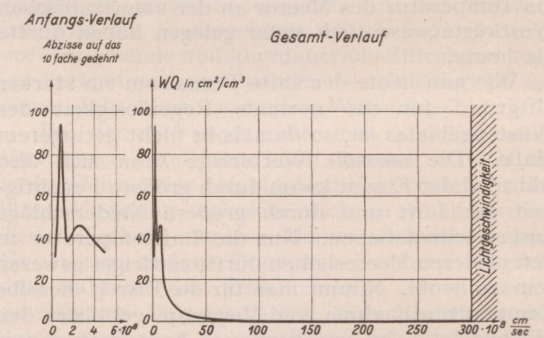


Fig. 1. Wirkungsquerschnittkurve des Stickstoffs im ganzen Bereich der Untersuchung.

Kurve von Stickstoff in dem ganzen bisher untersuchten Geschwindigkeitsbereich von $0{,}5 \cdot 10^8$ cm/sec entsprechend 500 km/sec bis Lichtgeschwindigkeit dargestellt; wobei, wie üblich, nicht der Wirkungsquerschnitt *einer* Molekel, sondern derjenige aller in 1 ccm bei 1 mm Druck befindlichen Molekeln in Quadratzentimetern aufgetragen ist. Die Darstellung zeigt den eigenartigen, bei kleineren Geschwindigkeiten sehr charakteristischen Verlauf der Wirkungsquerschnittskurve, die einfacher theoretischer Erwartung mit ihren 2 Maxima durchaus widerspricht.

Im folgenden sollen nun die angedeuteten „neuen Wege" der Atomchemie im Zusammenhang mit den „neuen experimentellen Hilfsmitteln" an einigen Beispielen erläutert werden. Es wird sich zeigen, daß die physikalische Betrachtungsweise von chemischen Verbindungen zu chemisch ungewohnten Aussagen führt und daß diese Betrachtungsweise in den direkten Feldsondierungen eine neue Methode zur Prüfung und Ergänzung gefunden hat.

1. *Stickstoff und Kohlenoxyd.* Die Gase Stickstoff ($N \equiv N$) und Kohlenoxyd ($C \equiv O$)[1] sind

[1] Die Ziffern in den Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit.

[1] Indem wir im Gegensatz zu älterem chemischen Gebrauch zwischen C und O die gleiche Zahl von Bin-

chemisch verschiedenartig. Stickstoff ist seinem chemischen Charakter nach sehr indifferent, d. h. er verbindet sich bei gewöhnlicher Temperatur mit keinem Element; Kohlenoxyd dagegen geht schon bei gewöhnlicher Temperatur Verbindungen ein und wirkt reduzierend. Bei höherer Temperatur vereinigt es sich direkt mit Metallen zu flüchtigen Verbindungen; es ist dann so aggressiv, daß es ein starkes Reduktionsmittel darstellt. Zwei besonders augenfällige Beispiele für diesen chemischen Unterschied sind: Stickstoff ist unverbrennbar und für den tierischen Organismus unschädlich, Kohlenoxyd ist brennbar und ein starkes Gift. — Betrachtet man jedoch nicht die chemischen, sondern die erwähnten physikalischen Eigenschaften, so sieht man, daß diese im Gegensatz zum chemischen Verhalten fast quantitativ übereinstimmen (3). So betragen für Stickstoff und Kohlenoxyd die gaskinetischen Querschnitte 27 bzw. 29 qcm/ccm, die VAN DER WAALSschen Volumenkorrekturen $17 \cdot 10^{-4}$ und $17 \cdot 10^{-4}$, die Verdampfungswärmen 49 und 50 cal/g, die Siedepunkte —195° C und —190° C und schließlich die Molrefraktionen 4,4 und 5,0. Da beide Molekeln weiterhin gleiches Molekulargewicht und gleiche Elektronenzahl besitzen, ist auf gleichen Aufbau geschlossen worden, der sich durch die Stellung der drei Elemente C, N, O nebeneinander im periodischen System plausibel machen läßt. Der chemische Unterschied ergibt sich dabei als Folge des bei Kohlenoxyd vorhandenen, durch die ungleichmäßige Ladungsverteilung bedingten Dipolmomentes.

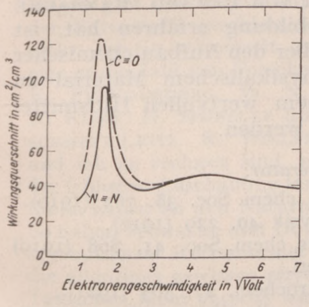


Fig. 2. Wirkungsquerschnittskurven von Stickstoff (N ≡ N) und Kohlenoxyd (C ≡ O).

Was sagen nun die direkten Sondierungen der Molekelkraftfelder, d. h. die Wirkungsquerschnittskurven darüber aus? In Fig. 2 ist das Ergebnis der Messungen an diesen beiden Gasen dargestellt (12, 13). Als Querschnittswerte sind wieder, wie in Fig. 1, nicht diejenigen einer Molekel, sondern die aller in 1 ccm bei 1 mm Druck befindlichen angegeben; als Geschwindigkeitseinheit ist $1\sqrt{\text{Volt}}$ entsprechend $\sim 0,6 \cdot 10^8$ cm/sec gewählt. Bis auf geringe Abweichungen bei kleinsten Geschwindigkeiten stimmen die Kurven quantitativ überein. Also auch die direkten Feldsondierungen bestätigen die Aussage der sonstigen physikalischen Daten: Die Molekeln von Stickstoff und Kohlenoxyd sind gleich groß und in ihrer Feldwirkung nach außen im wesentlichen gleich geartet. Die erheblichen chemischen Unterschiede schrumpfen in die Unterschiede der ersten steilen Maxima zusammen, deren Verschiedenartigkeit ebenso wie die chemischen Unterschiede mit den Dipolmomenten in Zusammenhang zu stehen scheint.

dungsstrichen setzen wie zwischen N und N, berücksichtigen wir bereits das Resultat unseres Vergleichs, welcher die Ähnlichkeit des molekularen Baues ergibt. Daß wir in beiden Fällen speziell *drei* ,,Bindungen" schreiben, ist eine Annahme, die der LEWISschen Anschauung von drei bindenden Elektronenpaaren entspricht.

2. *Stickstoff und Acetylen.* Ein zweiter, in anderer Hinsicht interessanter Vergleich ist mit Stickstoff möglich (4). Es ist der Vergleich zwischen Stickstoff (N ≡ N) und Acetylen (HC ≡ CH). Hier sind in chemischer Hinsicht noch größere Verschiedenartigkeiten vorhanden. Trotzdem scheint es vom physikalischen Standpunkt aus berechtigt, von einer Verwandtschaft der beiden Stoffe zu sprechen. Beide haben gleiche Elektronenzahl und es gehört nur eine Verschiebung der beiden H-Kerne in die C-Kerne dazu, um ein der Stickstoffmolekel gleichartiges Gebilde (,,Isotop") zu erhalten. Wenn auch diese Verschiebung bzw. Kernverschmelzung bei der Bildung der Acetylenmolekel sicherlich nicht in der geschilderten Weise stattfindet, so deutet doch Verschiedenes darauf hin, daß die H-Kerne in die Elektronenhülle eindringen, und zwar soweit, daß sie in ihrer Wirkung nach außen großenteils abgeschirmt werden (5). Die physikalischen Daten ganzer Gruppen von Stoffen, bei denen in dieser Weise durch Hinzutreten von H-Kernen ,,Pseudomolekeln" gebildet werden [Hydridverschiebungssatz (6)], geben dieser Betrachtungsweise recht. Sie sagen weiterhin aus, daß durch den Einbau von H-Kernen eine ,,Auflockerung" der Molekeln eintritt, eine erhöhte Absolutgröße der Pseudomolekeln bedeutend.

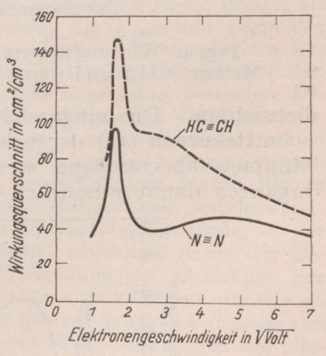


Fig. 3. Wirkungsquerschnittskurven von Stickstoff (N ≡ N) und Acetylen (HC ≡ CH).

Auch hier bestätigen und ergänzen die direkten Kraftfeldsondierungen durch Elektronen die physikalischen Überlegungen durchaus. Wie es Fig. 3 zeigt, findet sich die charakteristische Kurve des Stickstoffs mit dem scharfen Anfangsmaximum bei Acetylen wieder, ein ähnlich geartetes Kraftfeld vermuten lassend (15). Daß die Kurve von Acetylen gegenüber der des Stickstoffs bei Übergang zu kleineren Geschwindigkeiten in ihrer Absoluthöhe wächst, läßt sich im Einklang mit sonstiger Kenntnis als ,,Auflockerung" des Baues durch Eintritt der H-Kerne deuten.

3. *Methan und Krypton.* Noch ein drittes, besonders anschauliches Beispiel sei erwähnt. Macht man sich von chemischen Vorstellungen frei, so liegt es nahe, Methan (CH_4) wegen seines zu vermutenden tetraedersymmetrischen Aufbaus mit

den Edelgasen zu vergleichen. Der Erfolg läßt dies Vorgehen gerechtfertigt erscheinen. Man findet bei allen physikalischen Daten, die die Größe und Feldwirkung betreffen, eine gute Übereinstimmung mit denen des Edelgases Krypton. So betragen die gaskinetischen („Stoß" =) Querschnitte von Methan und Krypton 27 und 26 qcm/ccm, die VAN DER WAALSschen Volumenkorrekturen $19 \cdot 10^{-4}$ und $18 \cdot 10^{-4}$, die Verdampfungswärmen 2·0 und 2·2, die Siedepunkte −162°C und −152°C und schließlich die Molrefraktionen 6,6 und 6,4. Noch überzeugender wird der daraus zu ziehende Schluß von ähnlicher Feldwirkung (Symmetrie) und Größe der Methan- und Kryptonmolekel, wenn wir die Ergebnisse der direkten Feldsondierung in Fig. 4

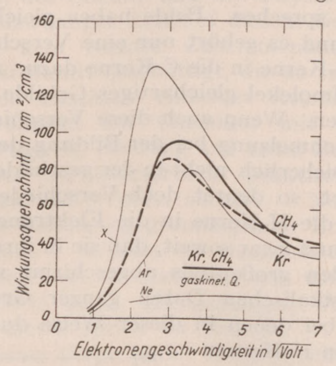


Fig. 4. Wirkungsquerschnittskurven von Methan (CH_4) und den schweren Edelgasen.

betrachten. Die eingezeichneten Wirkungsquerschnittskurven (14) der beiden verglichenen Gase stimmen überraschend weitgehend überein und ergänzen damit wesentlich die Kenntnis von der

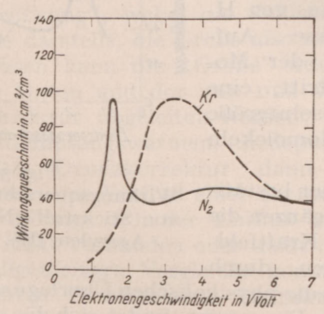


Fig. 5. Wirkungsquerschnittskurven von Stickstoff und Krypton.

Ähnlichkeit. Damit wird auch, ebenso wie durch die Vergleichsresultate des vorher betrachteten Acetylenbeispiels, die Annahme des Atomchemikers gestärkt, daß die in den Molekelverband eingetretenen Wasserstoffkerne in ihrer Wirkung nach außen abgeschirmt werden.

4. *Stickstoff und Krypton.* Daß unsere physikalische Betrachtung und Untersuchung der Molekeln von der chemischen tatsächlich wesentlich abweicht, zeigt eine andere Zusammenstellung der bereits bekannten Kurven. Vom chemischen Standpunkt aus wird man, wenn man überhaupt einen Vergleich durchführen will, die Edelgase nicht dem Methan, sondern eher dem Stickstoff wegen seiner Reaktionsträgheit ähnlich vermuten. Vergleichen wir indessen probeweise die Wirkungsquerschnittskurve des Kryptons mit der des Stickstoffs, wie es in Fig. 5 ausgeführt ist, so finden wir einen entsprechend deutlichen Gegensatz, wie wir beim Vergleich mit Methan deutliche Übereinstimmung fanden. Die Wirkungsquerschnittskurven sagen also positiv aus: Nicht Stickstoff, sondern Methan hat ein den Edelgasen, speziell dem Krypton ähnlich geartetes Kraftfeld, d. h. einen ähnlichen molekularen Aufbau an der Peripherie.

Die vorstehend geschilderten Beispiele zeigten uns: Die Betrachtungsweise chemischer Verbindungen von physikalischen Gesichtspunkten aus, wie sie von LEWIS, KOSSEL, LANGMUIR, HÜCKEL in Einzelfällen durchgeführt und besonders von GRIMM jetzt (8) systematisch in Angriff genommen ist, findet durch die Wirkungsquerschnittsmessungen Stütze und Ergänzung. Und umgekehrt: Die neue experimentelle Methode der direkten Feldsondierung durch Elektronen, die durch die Arbeiten von LENARD, RAMSAUER und BRÜCHE ihre Ausbildung erfahren hat, ist geeignet, die Schlüsse über den Aufbau chemischer Verbindungen nach physikalischem Material zu prüfen und so zu einem wertvollen Hilfsmittel des Atomchemikers zu werden.

Literatur.

1. G. N. LEWIS, J. amer. chem. Soc. **38**, 762 (1916).
2. W. KOSSEL, Ann. Physik **49**, 229 (1916).
3. J. LANGMUIR, J. amer. chem. Soc. **41**, 868 (1919) und folgende Arbeiten.
4. W. HÜCKEL, Z. Elektrochem. **27**, 305 (1921).
5. C. A. KNORR, Z. anorg. u. allg. Chem. **129**, 109, (1923).
6. H. G. GRIMM, Z. Elektrochem. **31**, 474 (1925).
7. H. G. GRIMM, Atombau und Chemie (Atomchemie). Handbuch d. Physik **24**, 466 (1927).
8. H. G. GRIMM, Sommerfeld-Festschrift 1928.

9. P. LENARD, Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit. Ann. Physik **12**, 714 (1903).
10. C. RAMSAUER, Über den Wirkungsquerschnitt der Gasmoleküle gegenüber langsamen Elektronen. Ann. Physik **64**, 513 (1921); **66**, 546 (1921); **72**, 345 (1923).
11. C. RAMSAUER, Über den Wirkungsquerschnitt neutraler Gasmoleküle gegenüber langsamen Elektronen. Physik. Z. **29**, 823 (1928). (Zusammenfassende Darstellung der Entwicklung und Kenntnis.)
12. E. BRÜCHE, Über den Querschnitt von Wasserstoff- und Stickstoffmolekülen gegenüber langsamen Elektronen. Ann. Physik **81**, 537 (1926); **82**, 912 (1927).
13. E. BRÜCHE, Wirkungsschnitt und Molekülbau. Ann. Physik **83**, 1065 (1927).
14. E. BRÜCHE, Wirkungsquerschnitt und Molekelbau in der Pseudoedelgasreihe: Ne — HF — H_2O — NH_3 — CH_4. Physik. Z. **29**, 830 (1928); Ann. Physik **1**, 93 (1929).
15. E. BRÜCHE, Wirkungsquerschnitt und Molekelbau der isoteren Reihen: N_2 — $(CH)_2$ und O_2 — $(NH)_2$ — $(CH_2)_2$. Ann. Physik (noch nicht erschienen).

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Bemerkung zu der Abhandlung von H. Staudinger: „Über die Konstitution der hochmolekularen Stoffe".

Wir sehen uns durch die Ausführungen STAUDINGERS[1] veranlaßt, gegen seine Art der Darstellung der Verhältnisse nachdrücklich Verwahrung einzulegen. Es ist nicht richtig, daß „in den Veröffentlichungen von K. H. MEYER im wesentlichen Ansichten wiedergegeben werden, wie sie STAUDINGER seit Jahren in zahlreichen Publikationen und Vorträgen vertreten hat".

H. MARK und ich stimmen in einem wesentlichen Punkte durchaus mit STAUDINGER überein, nämlich darin, daß wir in den hochpolymeren Naturprodukten längere durch Hauptvalenzen zusammengehaltene Reihen von Atomen (lange Moleküle, bzw. Hauptvalenzketten) annehmen. Hierin knüpfen wir aber nicht an STAUDINGER an, sondern an die früher allgemein herrschende Lehre, die besonders durch EMIL FISCHERS Arbeiten über Polypeptide und über Eiweißkörper sehr gut fundiert ist. Keineswegs hat „man", wie STAUDINGER schreibt, angenommen, „daß die Kantenlänge der Elementarzelle eine obere Grenze für die Moleküllängen gibt und daraus auf eine geringe Molekülgröße der Naturstoffe geschlossen." Dieser Irrtum ist vielmehr relativ vereinzelt geblieben. Dagegen haben eine große Zahl von Forschern, zu denen z. B. E. BERL, K. FREUDENBERG, W. N. HAWORTH, J. R. KATZ, R. KUHN, H. SPONSLER und A. W. DORE, E. WALDSCHMIDT-LEITZ, R. WILLSTÄTTER, endlich H. MARK und ich zu rechnen sind, ebenso wie STAUDINGER an der früheren Anschauung festgehalten. Die meisten von ihnen haben an den Naturprodukten selbst gearbeitet. So haben SPONSLER und DORE schon im Jahre 1926 eine spezialisierte Kettenformel der Cellulose aufgestellt, die allerdings gewissen physikalischen und chemischen Tatsachen nicht gerecht wurde. STAUDINGER aber hat im wesentlichen mit synthetischen Stoffen gearbeitet und auf die Konstitution der Cellulose nur Analogieschlüsse gezogen, die keineswegs zwingend sind. Wir bemerken weiter, daß POLANYI und HERZOG schon vor längerer Zeit klar ausgesprochen haben, daß ein kleiner Elementarkörper mit langen, durch chemische Valenzen gebundene Ketten vereinbar ist, und das K. WEISSENBERG bereits 1925 in ausführlichen systematischen Arbeiten die Möglichkeiten solcher Fälle ganz erschöpfend abgehandelt hat. Die STAUDINGERschen Experimente und die auf seine Veranlassung von HENGSTENBERG durchgeführten Röntgenuntersuchungen haben für diese Fälle wohl außerordentlich interessantes, experimentelles Material erbracht, ihre prinzipielle Möglichkeit war aber schon vorher klar erkannt und bei Diskussionen über den Bau der hochpolymeren Naturprodukte in Betracht gezogen worden.

Wir stimmen somit in den oben skizzierten Punkten mit STAUDINGER überein, der hierin einer von vielen Forschern ist, die den Standpunkt der hochpolymeren Ketten niemals verlassen haben. Wir haben daher auch STAUDINGER in den einschlägigen Originalarbeiten entsprechend zitiert, während in der zusammenfassenden Arbeit in den „Naturwissenschaften" nur auf diejenigen Arbeiten hingewiesen werden konnte, auf denen wir unser Gesamtbild vom Bau der Naturprodukte aufgebaut haben.

[1] Naturwiss. 17, 141 (1929).

In wesentlichen Punkten dagegen sind wir anderer Meinung als STAUDINGER.

Wir betrachten anders als STAUDINGER vor allen Dingen den Aufbau der Cellulose und der anderen Hochpolymeren in Lösung, die in diesem Zustand nach STAUDINGER „Eukolloide" sein sollen und keinerlei Micellarcharakter zeigen. Wir sind jedoch der Überzeugung, daß Schwarm- oder Micellbildung bei den hochpolymeren Körpern auch in Lösung eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Schwere Bedenken haben wir gegen die von STAUDINGER bei seinen Arbeiten über Polymere als beweiskräftig angewandte Methode der Molekulargewichtsbestimmung. Weder hat er die Solvatation berücksichtigt, noch bedacht, daß das osmotisch gemessene „Molekulargewicht" durchaus nicht die Größe der durch Kovalenzen zusammengehaltenen Einheit (STAUDINGERS Begriff „Molekül") zu haben braucht.

STAUDINGER bezeichnet ferner als wesentliches Ergebnis seiner Arbeiten, daß die charakteristischen Eigenschaften der Hochpolymeren durch die Kettenlänge, also durch die Molekülgröße, bedingt seien. Wir legen neben dieser Eigenschaft auch den Gruppen, welche die einzelnen Kettenglieder besetzen, und ihren Molkohäsionen eine gleiche Bedeutung bei, ferner auch der Lage und Form der Ketten. Wir haben daher auch in all unseren Arbeiten viel weniger Wert auf die Feststellung, daß überhaupt Ketten vorliegen, gelegt, als auf die genaue Ergründung der Lage und Form der Ketten, der Bindung zwischen den Kettengliedern, der Micellarkräfte usw. Während weiter STAUDINGER den Endgruppen der Kette eine allgemeine, besondere Bedeutung zumißt, die den chemischen Charakter der betreffenden Verbindungen bestimmen sollen, messen wir ihnen bei langen und mit chemisch aktiven Gruppen stark besetzten Ketten, wie es Cellulose, Stärke, Eiweiß sind, keine Bedeutung zu. Unterschiede bestehen endlich in der Deutung der Viscositätsphänomene, wo wir seine „Vercrackungstheorie" ablehnen, ferner der Begriffsbildung, in der Herstellung der Beziehung zur Kolloidchemie, kurz in sehr vielen Dingen, die wir als wesentliche Bestandteile unserer Arbeiten auffassen und in fast allen Punkten, wo STAUDINGER über die älteren Vorstellungen hinaus neue eigene Ansichten entwickelt hat.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß die Formulierung STAUDINGERS über unsere Differenzen „in folgenden Punkten verändert K. H. MEYER meine früheren Anschauungen" den Sachverhalt ebensowenig deckt wie seine eingangs zitierte Äußerung, daß die in unseren Arbeiten ausgesprochenen Ansichten in den wesentlichen Punkten eine Wiederholung der seinen seien.

Ludwigshafen a. Rh., den 9. März 1929.

KURT H. MEYER.

Die Bandensysteme des Wasserstoffmoleküls.

In zwei Arbeiten, die in der Z. f. Physik veröffentlicht werden, ist es uns gelungen, die Bandenanalyse des Viellinienspektrums des Wasserstoffs so weit zu fördern, daß die dominierenden Systeme des Spektrums als ein Singulett- und ein Triplettsystem sichergestellt sind. Dabei wurde das sog. Balmerbandenspektrum (die α-, β-, γ-, δ-Banden) — von RICHARDSON und BIRGE als Triplettsystem bezeichnet — eindeutig als das

Singulettsystem erkannt. In dieses System sind von RICHARDSON und DAS[1], SANDEMANN[2] und uns jetzt 550 durch Kombinationsbeziehungen gesicherte Linien eingeordnet. Weitere 725 Linien konnten jetzt von uns in 60 Banden mit 179 Zweigen eines neuen Systems eingeordnet werden. Eine eingehende Diskussion aller Ergebnisse zeigte klar, daß diese neuen Banden das Triplettsystem des Wasserstoffmoleküls bilden. Die Banden bestehen aus je 3 intensiven, Q-ähnlichen Zweigen ($\Delta m = 0$) und 2 schwächeren Zweigen, bei denen die Laufzahl m um 2 Einheiten springt ($\Delta m = \pm 2$). Diese 5 Zweige lassen sich nach folgendem Ansatz deuten:

$$2^3S_0 - m^3P_0 \begin{cases} R_0(m-1) = F'_0(j+1) - F''_0(j) & \Delta m = +2 \\ P_0(m-1) = F'_0(j-1) - F''_0(j) & \Delta m = 0 \end{cases}$$

$$2^3S_0 - m^3P_1 \quad Q_1(m-1) = F'_1(j) \qquad - F''_0(j) \quad \Delta m = 0$$

$$2^3S_0 - m^3P_2 \begin{cases} R_2(m-1) = F'_2(j+1) - F''_0(j) & \Delta m = 0 \\ P_2(m-1) = F'_2(j-1) - F''_0(j) & \Delta m = -2 \end{cases}$$

in dem j den Totalimpuls des Moleküls bezeichnet und der Index die Größe des Elektronenimpulses parallel zur Kernachse angibt. Termdeutung, Kernschwingungszahlen und Trägheitsmomente konnten angegeben werden für die Terme 2^3S, 3^3P, 4^3P und 3^3D (beim letzteren fehlt der Q-Zweig der Banden). Alle neu gefundenen Banden haben den 2^3S-Term als Endterm gemeinsam, der gleichzeitig der Anfangsterm der ultravioletten Lymanbanden ist, so daß diese als $1^1S - 2^3S$ Interkombination erkannt wurden. Eine Übersicht über die vorhandenen Terme und Molekülkonstanten gibt die folgende Tabelle, in der allerdings die relative Lage von 2^1S, 3^1P, 4^1P usw. zu den übrigen Termen noch nicht ganz sicher festliegt und nur unter Benutzung eines vorläufigen Wertes von $1^1S - 2^1S = 96000$ bestimmt wurde.

Term	ν	an	$-bn^2$	$2B_0$	J_0	r_0
1^1S	0	4247	114,5	115,5	0,467 10^{-40}	0,75 10^{-8}
2^1S	96000	2590,61	70,47	66,7	0,828	1,00
3^1S	111598	1861,5	72,4	47,0	1,118	1,19
2^1P	99039	2377	67,0	58,8	0,940	1,06
3^1P	112611	2304,44	65,02	59,1	0,935	1,06
4^1P	118263	2273,77	65,06	58,8	0,940	1,06
5^1P	120839	2250,7	60,8	—	—	—
6^1P	122224	2226,3	54,0	—	—	—
2^3S	90083	1337,62	19,67	38,9	1,424	1,31
3^3P	111813	2177,8	78,53	58,0	0,96	1,08
4^3P	117413	(2350)	—	58,5	0,95	1,08
3^3D	111530	1784,3	19,53	(33)	1,7	1,43
3 X	103485	(1809)	—	(37)	1,5	1,35

Dadurch, daß der größte Teil der intensiveren Linien des Spektrums jetzt fest eingeordnet ist, kann auch als bewiesen gelten, daß, wenn überhaupt neben dem H_2-Molekül auch noch H_2^+ und H_3 an der Emission des Viellinienspektrums beteiligt sein sollten, diese nur eine untergeordnete Rolle spielen können.

Bonn, Physikalisches Institut, den 10. März 1929.
R. MECKE. W. FINKELNBURG.

Festes Helium bei hohen Temperaturen.

Betrachtungen über die Form der Schmelzkurve[3] hatten uns zu der Ansicht geführt, daß die Schmelztemperatur entgegen den bisher meist vertretenen Meinungen mit steigendem Druck weder zu tieferen Temperaturen umbiegt, noch einen Grenzwert erreicht, sondern in der Form:

$$\log (a + p) = c \log T + b$$

dauernd zunimmt. Die Frage, ob dieser Kurve durch einen kritischen Punkt krystallin-fluid eine Grenze gesetzt wird, schien uns durch die Untersuchung der tiefsiedenden Substanzen am ehesten zu klären.

Ich habe daher gemeinsam mit den Herren RUHEMANN und EDWARDS die Verfolgung der Schmelzkurve des Heliums bis zu sehr hohen Drucken unternommen. Von dieser Kurve war nach KEESOM bisher das Gebiet von 1.1° bis 4.2° abs. bekannt (Drucke von 26 bis 145 kg/cm²). Auf Grund der oben erwähnten Betrachtung haben wir gleich bei den relativ sehr hohen Temperaturen des flüssigen Wasserstoffes begonnen (krit. Temperatur des Heliums = 5.2°) und dort auch die Schmelzkurve wieder aufgefunden. In einer soeben erschienen Arbeit[1] sind ihre Daten von 12°—20° abs. angegeben, ferner wurde dort gezeigt, daß die Werte durch eine Formel der obigen Form sehr gut dargestellt werden.

Wir haben nun die Untersuchung nach noch höheren Temperaturen erweitert. Da wir gefunden hatten, daß man sich bei 20° abs. noch nicht in der Nähe eines kritischen Übergangsgebietes befindet (hohe Schmelzwärmen und geringe Plastizität), haben wir zunächst auf weitere Messung der Schmelzwärmen verzichtet und als Kriterium für das Festwerden die Verstopfung einer Capillare benutzt. Wir nahmen 14 Schmelzpunkte zwischen 20.4° und 32.4° auf. Druck- und Temperaturmessung sind nicht so genau, wie bei den Werten zwischen 12 und 20°, immerhin erreicht die Streuung um die ausgeglichene Kurve nur maximal 1.5%. In der folgenden Tabelle sind die Schmelzdrucke von 4 zu 4° angegeben:

T	p (kg/cm²)		T	p (kg/cm²)
0	(26)		16	1270
1	26	Keesom	20	1800
4	131	Keesom	24	2380
8	(425)		28	3010
12	813		32	3690

Auch die Werte von 20° aufwärts folgen recht genau der (l. c.) angegebenen Formel. Bei den höchsten Temperaturen liegen sie etwa 1% tiefer, jedoch ist dies innerhalb unserer Meßgenauigkeit.

Die ausführliche Mitteilung erfolgt in der Zeitschrift für phys. Chemie. Wir sind zur Zeit damit beschäftigt, den Druckbereich noch wesentlich auszudehnen und außerdem die Bestimmung der Schmelzwärmen weiter zu führen, um beurteilen zu können, ob man sich einem kritischen Übergangsbereich nähert. Sollte dies nicht der Fall sein, dann würde man Helium nach unserer Formel bei 80° abs. durch einen Druck von 15000, bei Zimmertemperatur durch einen solchen von ca. 100000 kg/cm² verfestigen können.

Bisher war eine Verfestigung oberhalb der gewöhnlichen kritischen Temperatur nur in 2 Fällen bekannt und auch nur in geringem Maße (Überschreitung der kritischen Temperatur um 20% unter 12000 kg/cm² bei der Kohlensäure). Daß es gelingt, eine Substanz noch bei ihrer 6fachen kritischen Temperatur in den festen Zustand zu überführen, dürfte auch für die Frage nach dem Zustand der Materie im Innern der Sterne von Bedeutung sein.

Berlin, Physikalisch-Chemisches Institut der Universität, den 27. März 1929. F. SIMON.

[1] O. W. RICHARDSON und K. DAS, Proc. Roy. Soc. Lond. (A) **122**, 688 (1929).
[2] P. SANDEMANN, Proc. Roy. Soc. Edinburgh **49**, 48 (1929).
[3] SIMON und GLATZEL, Z. anorg. Chem. **178**, 309 (1929).

[1] SIMON, RUHEMANN und EDWARDS, Z. phys. Chem. B. **2**, 340 (1929).

Besprechungen.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften. Siebenter Band. Berlin: Julius Springer 1928. III, 437 S. u. 83 Abb. 16×24 cm. Preis geh. RM 28.60, geb. RM 29.80.

Dieser neueste Band der jährlich erscheinenden Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften enthält folgende Beiträge: JEFFREYS, The origin of the solar system; BECKER und GROTRIAN, Über die galaktischen Nebel und den Ursprung der Nebellinien; MEYERMANN, Die Schwankungen unseres Zeitmaßstabes; BARTELS, Die höchsten Atmosphärenschichten; JORDAN, Die Lichtquantenhypothese. Entwicklung und gegenwärtiger Stand; HETTNER, Neuere experimentelle und theoretische Untersuchungen über die Radiometerkräfte; FRUMKIN, Die Elektrocapillarkurve; SCHWAB, Theoretische und experimentelle Fortschritte auf dem Gebiete der heterogenen Gasreaktionen; SCHMIDT, Die Gesamtwärmestrahlung fester Körper; THIRRING, Die Grundgedanken der neueren Quantentheorie. I. Teil: Die Entwicklung bis 1926.

Es sei dem Referenten gestattet, aus dem reichen Inhalt des Bandes nur den zweiten, fünften und letzten Aufsatz herauszugreifen, nicht weil er die übrigen Aufsätze für weniger wertvoll hält, sondern weil diese seinem speziellen Fachgebiet fernerstehen. Der Artikel von BECKER und GROTRIAN gibt eine sehr vollständige Übersicht über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse über die Nebel, sowohl nach der astronomischen als auch nach der spektroskopischen Seite hin. Nach Besprechung der allgemeinen Einteilung der Nebel in planetarische (mit Zentralstern) und diffuse wird naturgemäß das Hauptgewicht auf eine Diskussion der Spektren der Nebel gelegt. Während bei den diffusen Nebeln auch solche mit einem rein kontinuierlichen Spektrum vorhanden sind, zeigen die planetarischen Nebel stets Emissionslinien, unter denen die stärksten die Balmerserie sowie gewisse Linien des ionisierten und des neutralen Heliums und die sog. Nebuliumlinien sind; ferner tritt noch das kontinuierliche Spektrum des atomaren Wasserstoffes auf, das von der Grenze der Balmerserie angefangen, sich in das ultraviolette Gebiet erstreckt. Es werden dann weiter die Tatsachen angegeben, die zu der Auffassung führen, daß das von den Nebeln emittierte Licht durch das Licht von Sternen (bei den planetarischen Nebeln kommt hier naturgemäß der Zentralstern in Betracht) angeregt ist. Einen wichtigen Teil des Artikels von BECKER und GROTRIAN bildet sodann die Darlegung der von BOWEN aufgefundenen Identifizierung der „Nebuliumlinien", der eine Diskussion der Spektren N II, O II und O III (dies ist gleichbedeutend mit N^+, O^+ und O^{++}) vorangeschickt ist. Bekanntlich besteht die BOWENsche Deutung dieser Linien, die übrigens in Laboratoriumslichtquellen noch nicht erzeugt werden konnten, darin, daß es sich hierbei um Übergänge zwischen Termen der genannten Spektren handelt, bei denen sowohl im Anfangs- wie im Endzustand neben den zwei 1_1- und den zwei 2_1-Elektronen nur 2_2-Elektronen (zwei bei N^+ und O^{++}, drei bei O^+) vorhanden sind. Diese Übergänge durchbrechen die Auswahlregel von LAPORTE, nach der die Summe der Werte der Azimutalquantenzahlen bei einem mit Ausstrahlung verbundenen Übergang sich nur um eine ungerade Zahl ändern darf, während hingegen bei den in Frage kommenden Übergängen sich diese Zahlen überhaupt nicht ändern. Es sei an dieser Stelle noch bemerkt, daß auf Grund der Wellenmechanik, wie WIGNER gezeigt hat, für diese Regel leicht eine allgemeine Herleitung gegeben werden kann, welche die Invarianz der Energie des Atoms bei Spiegelung aller Elektronen am Kern benutzt. Vollständige und übersichtliche Angaben über die Einordnung der einzelnen Linien und ihre relativen Intensitäten sind in dem Artikel von GROTRIAN und BECKER zu finden. Was die Erklärung der Durchbrechung der genannten Auswahlregel in den Nebelspektren betrifft, so kommen die Verfasser zunächst zu dem Schluß, daß elektrische Felder oder die Einwirkung elektrisch neutraler Nachbaratome (derselben Gattung oder eines Fremdgases), die bei irdischen Lichtquellen öfters den Anlaß zum Auftreten verbotener Linien geben, in den Nebeln nicht in Betracht kommen können, wie eine nähere Diskussion von deren physikalischem Zustand zeigt. Vielmehr muß eine spontane Übergangswahrscheinlichkeit für Emission auch bei diesen verbotenen Übergängen, selbst bei vollkommen voneinander isolierten Atomen angenommen werden, wenn diese auch größenordnungsmäßig kleiner sein wird als die bei gewöhnlichen Übergängen. Wo diese kleine, aber endliche spontane Emissionswahrscheinlichkeit für die verbotenen Übergänge herrührt, darüber konnten die Verfasser keine nähere Erklärung angeben. Seit dem Erscheinen des besprochenen Artikels ist aber von RUBINOWICZ darauf hingewiesen worden, daß die Quadrupolstrahlung die gewünschte Erklärung für das Auftreten der verbotenen Übergänge liefert, indem deren Wahrscheinlichkeit für ein bekanntes Atom sich zu der der gewöhnlichen Übergänge größenordnungsmäßig so verhält wie das Quadrat des Quotienten aus den Atomdimensionen und der Wellenlänge des emittierten Lichtes. Es ist zu hoffen, daß es auf diesem Wege auch gelingen wird, von den relativen Intensitäten der verschiedenen Nebellinien mehr im einzelnen Rechenschaft zu geben. Mit einem Abschnitt über die Lichtanregung und Lichtemission in den Nebeln, in welchem unter anderem auch die von ZANSTRA durchgeführte Abschätzung der Temperaturen der Zentralsterne besprochen wird, und einem weiteren Abschnitt zur Kosmogonie der galaktischen Nebel schließt der Artikel von BECKER und GROTRIAN.

Nun mögen noch die beiden Artikel besprochen werden, die sich mit Fragen der neueren Quantentheorie befassen und zwar zuerst der Artikel von THIRRING, da er sich mit den allgemeinen Grundgedanken der Theorie, wie sie bis Ende 1926 aufgestellt war, befaßt, während der JORDANsche Artikel mehr die feineren Fragen ins Auge faßt, welche zu den allerletzten theoretischen Entwicklungen Anlaß gegeben haben. Es ist nicht der Zweck des THIRRINGschen Artikels, eine vollständige Aufzählung der Ergebnisse der neueren Theorie zu bringen, auch ist er keineswegs als eine Sammlung historischer Angaben mit Nennung möglichst vieler an der Entwicklung der Theorie beteiligter Autoren gedacht. Vielmehr sollte, wie THIRRING sich ausdrückt, das Gerippe der Theorie in möglichst elementarer Form herausgearbeitet und natürlich auch der organische Zusammenhang der jetzigen Quantenmechanik oder Wellenmechanik mit der älteren, auf der Elektronenbahnvorstellung fußenden Form der Quantentheorie aufgedeckt werden. Sicherlich werden die meisten Leser dem Verfasser für diese Wahl seiner Aufgabe Dank wissen. Nach einem einleitenden Abschnitt über das Strahlungsfeld von Elektronenumläufen nach der klassischen Elektrodynamik folgt ein Abschnitt über die BOHRsche Theorie (stationäre Zustände, Frequenzbedingung, Korrespondenzprinzip, Quantenbedingungen). Zur Diskussion der Grenzen der Leistungsfähigkeit dieser Theorie wäre allerdings zu bemerken,

daß diese doch nicht ausschließlich beim Mehrkörperproblem zutage tritt, wie in dem besprochenen Artikel bemerkt wird, sondern auch bei feineren Einzelheiten des Einkörperproblems wie dem Wert für die Dielektrizitätskonstante des atomaren Wasserstoffes oder bei dem Modell von H_2^+, das ja auch zu den Einelektronensystemen gezählt werden muß, sogar zu den bedingt periodischen. Der folgende Abschnitt enthält eine sehr anschauliche Darlegung der ursprünglichen, auf der Matrizenmethode basierenden Quantenmechanik von HEISENBERG, die beiden letzten Abschnitte die DE BROGLIEschen Wellen und die SCHRÖDINGERsche Wellenmechanik. Ohne näher auf Einzelheiten einzugehen, möge doch hervorgehoben werden, daß uns die Behandlung des zuletzt genannten Gegenstandes als nicht genügend vollständig erscheint, da z. B. die Stoßvorgänge und das Zerfließen der Wellenpakete nicht erwähnt werden. Auch kann das in dem Artikel beschriebene, von SCHRÖDINGER stammende anschauliche Bild des Ausstrahlungsvorganges einer eingehenderen Kritik gegenüber nicht standhalten, da es zur Berechnung der Intensitäten des emittierten Lichtes mit nicht normierten Eigenfunktionen und unbestimmten, als Stärke der Anregung der einzelnen Eigenschwingungen gedeuteten Faktoren führt, und zwar in einer solchen Weise, die der Erfahrung und anderen Theorien widerspricht.

Der letzte Absatz des THIRRINGschen Artikels, betitelt ,,Kritik der Wellenmechanik", wird von vielen Physikern mit großem Interesse gelesen werden. Als Mangel der jetzigen Quantenphysik wird hierin unter anderem der Umstand angeführt, daß diese die Form der HAMILTONschen Funktion, in der Form des COULOMBschen Gesetzes z. B., aus der klassischen Theorie übernimmt statt sie aus ihrem eigenen Wesen heraus verständlich zu machen. Diesem Punkt glaubt der Referent unbedingt zustimmen zu müssen, da auch der später zu besprechenden neueren Form der Theorie dieser Mangel anhaftet. Ferner wird in dem in Rede stehenden Absatz das Fehlschlagen der Hoffnung auf eine reine Feldphysik betont, das durch die Notwendigkeit der Einführung des mehrdimensionalen Konfigurationsraumes bei der quantenmechanischen Behandlung des Mehrkörperproblems besonders deutlich wird. Mit der Einstellung der verschiedenen Physiker zu den Wellen im Konfigurationsraum ist es sehr merkwürdig: Denjenigen, die von der klassischen Punktmechanik und der DE BROGLIEschen Analogie zwischen dieser und der Strahlenoptik ausgehen, erscheint die Verwendung des mehrdimensionalen Raumes selbstverständlich; denjenigen aber, die dem Ideal nachstreben, eine mit gewöhnlichen Wellen im klassischen Sinne operierende Quantenphysik aufzubauen, *bei der die Verwendung des Partikelbegriffes vollkommen vermieden wird*, muß der Konfigurationsraum als störend, ja vielleicht sogar als sinnlos erscheinen. Wir werden später, bei der Besprechung des JORDANschen Artikels nochmals auf die Frage der Rolle des Konfigurationsraumes zu sprechen kommen, möchten aber hier zunächst hervorheben, daß eine große Zahl von Physikern existiert, die das beschriebene Ideal weder für erreichbar noch für anstrebenswert halten. Diesen ist es überdies gelungen, zu zeigen, daß eine einheitliche und widerspruchsfreie statistische Deutung der DE BROGLIE-SCHRÖDINGERschen Wellen mit Hilfe des Partikel- oder Individuumbegriffes (aber unter Vermeidung der klassischen Vorstellung der ,,Bahn" eines Partikels) möglich ist, die sich auf die HEISENBERG-BOHRschen Unsicherheitsrelationen und die DIRAC-JORDANsche Transformationstheorie stützt. Man wird hoffen dürfen, daß der Verfasser über diese Gegenstände in dem angekündigten zweiten Teil seines Artikels, der im nächsten Band der ,,Ergebnisse" erscheinen soll, mit der ihm eigenen kritischen Klarheit und Einfachheit des Stils berichten wird und man wird diesem Bericht schon jetzt mit Freude entgegensehen.

Der Artikel von JORDAN über die Lichtquantenhypothese bildet eine sehr willkommene Ergänzung zum THIRRINGschen Artikel, da erstere einen in letzterem nicht besonders ins Auge gefaßten Zug der Entwicklung der Quantentheorie verfolgt, der zugleich eines ihrer wichtigsten Probleme kennzeichnet: den Dualismus der Wellen- und der Korpuskelvorstellung sowohl beim Licht als auch bei der Materie. Nach einer vortrefflichen Übersicht über die ältere Entwicklung der Lichtquantenhypothese (EINSTEINsche Schwankungsbetrachtungen von 1905, DEBYES Quantelung der Eigenschwingung der Hohlraumstrahlung, EINSTEINS Untersuchung von 1917 über die Notwendigkeit der Annahme eines Rückstoßes bei den Emissionsprozessen) und zwei weiteren Kapiteln über die bekannten Schwierigkeiten, die Lichtquantenvorstellung mit den Interferenzerscheinungen in Einklang zu bringen, und den mißglückten Lösungsversuch von BOHR-KRAMERS-SLATER sowie über die Materiewellen (DE BROGLIEsche Wellen und EINSTEINsche Theorie der Gasentartung) kommen wir zu den beiden Hauptabschnitten des JORDANschen Artikels, die sich mit der Stellung der heutigen Quantenmechanik zu dem Wellen-Korpuskelproblem beschäftigen sowie mit der Rolle, die dieses Problem bei der Entwicklung der Quantenmechanik gespielt hat. Der Verfasser betont, wie gerade die Analogie zwischen Licht und Materiewellen zu einer statistischen Deutung der SCHRÖDINGERschen Eigenfunktionen führt und wie die Darstellung der Wellenamplituden durch Matrizen eine neue Herleitung der früher nur auf dem Weg über die Thermodynamik gewonnenen Ergebnisse über die Schwankungen der Hohlraumstrahlung und der entsprechenden Ergebnisse über die Schwankungen der Materiewellen ermöglichte. Diese letztere Tatsache gab dann den Anlaß zu einer neuen Formulierung der Quantenmechanik des Mehrkörperproblems (KLEIN, JORDAN, WIGNER), die für die weitere Entwicklung der Quantentheorie von ausschlaggebender Bedeutung zu sein scheint. Die oben erwähnte, auf SCHRÖDINGER zurückgehende Theorie, welche Wellen im Konfigurationsraum benutzt, ist nämlich ungeeignet für die Aufstellung einer relativistisch invarianten Theorie, welche auch die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kräfte berücksichtigen muß. Denn der Konfigurationsraum enthält eine unnatürliche Bevorzugung des Raumes vor der Zeit und ist außerdem ungeeignet zur Beschreibung der Lichtquanten, deren Anzahl nicht von vornherein festgelegt werden kann. So gelangten auch diejenigen Physiker, die nicht dem Ideal einer den Partikelbegriff oder den Begriff des Individuums vermeidenden Physik nachstreben, zu dem Wunsche, das Hilfsmittel des Konfigurationsraumes durch ein anderes zu ersetzen. Ein solches bot sich dar in dem bei der erwähnten neuen Behandlung des Mehrkörperproblems benutzten Raum der Amplituden der (im gewöhnlichen Raum und in der gewöhnlichen Zeit verlaufenden) Eigenschwingungen, der bereits in der DIRACschen Theorie der Emission und Absorption von Strahlung mit Erfolg verwendet wurde, oder dem damit äquivalenten (und von dem Vorhandensein von Hohlräumen mit besonderen Randbedingungen unabhängigen) Raum der materiellen und elektromagnetischen Feldgrößen selber, der ein Kontinuum von Dimensionen besitzt. In dem letzten

Absatz des Artikels, der von dem relativistischen Ausbau der Theorie handelt, sind leider Angaben des Verfassers über frühere unveröffentlichte Überlegungen von HEISENBERG und PAULI enthalten, die ohne Kenntnis dieser Autoren dort eingefügt worden sind. Es ist nicht nötig, hier näher auf diese Fragen einzugehen, da diese Autoren ihre inzwischen wesentlich vervollständigten Überlegungen in einer bereits im Druck befindlichen ausführlichen Arbeit veröffentlichen werden. Nur soviel sei hier bemerkt, daß das Problem einer einheitlichen, die Retardierung der Potentiale berücksichtigenden Behandlung der statischen und der durch Strahlung vermittelten Wechselwirkungen in dem zu erwartenden Umfang auf der in Rede stehenden Grundlage als lösbar erscheint. Ungelöst bleiben alle Fragen, die mit dem feineren Verständnis der elektrischen Elementarteilchen selbst zusammenhängen, wie z. B. die grundsätzlichen Schwierigkeiten der DIRACschen Theorie des Elektrons, die auch in dem Artikel erwähnt werden, die Eigenenergie der Elektronen, die Asymmetrie der beiden Elektrizitätsarten oder die Frage nach der Begründung des Ausschließungsprinzips (Äquivalenzverbotes) für die Elektronen und Protonen, das diese von den Lichtquanten grundsätzlich unterscheidet. Über das zuletztgenannte Problem findet sich in dem Artikel eine gegenteilige Behauptung, die jedoch auf einem Irrtum beruht. Gerne wird man aber dem Verfasser des sehr anregend geschriebenen und lehrreichen Berichtes über die Lichtquantenhypothese darin zustimmen, daß die Schwierigkeiten im wesentlichen im elektromagnetischen Felde liegen und daß eine vertiefte Auffassung dieses Feldes erwünscht ist, welche dieses als speziellen, elektrisch neutrale Teilchen (Lichtquanten) betreffenden Sonderfall der Materiefelder zu begreifen gestatten würde, womit auch die EDDINGTONsche Hypothese von der Möglichkeit der Zerstrahlung von Elektronen und Protonen zusammenzuhängen scheint.

W. PAULI jr., Zürich.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 5. Januar 1929 hielt Professor L. VAN VUUREN, Utrecht, einen Vortrag über seine **Reise zu den Toradja in Zentral-Celebes.**

Der Malayische Archipel nimmt als Verbindungsglied zwischen Asien und Australien eine besondere Stellung ein, denn nirgends sonst auf der Erde weisen die Landmassen eine so weitgehende Zerstückelung auf, durch welche die feste Erdkruste förmlich zerfetzt erscheint. Die westliche Hälfte wird durch die große Sundaplatte eingenommen, auf welcher sich die Inseln Sumatra, Java und Borneo über den Spiegel des seichten, nur 50 m tiefen Meeres erheben, was erkennen läßt, daß es sich hier um einen Transgressionsvorgang handelt, eine Hebung des Meeresspiegels nach der Eiszeit, durch welche die niedrigen Teile der Sundaplatte überflutet wurden. Noch heute erkennt man an dem untermeerischen Relief ein ertrunkenes Flußsystem, dessen Abfluß nordwärts zum Südchinesischen Meer erfolgte. Im Gegensatz zu diesem mehr geschlossenen westlichen Teil ist die östliche Hälfte in zahlreiche Inseln aufgelöst. Das unruhige und abwechselungsreiche Relief (hohe Gebirgsketten, die durch tiefe Meeresbecken unterbrochen werden) deutet darauf hin, daß wir es mit einem sehr *labilen* Teil der Erdkruste zu tun haben, im Gegensatz zu dem *stabilen* westlichen Teil des Archipels.

An der Grenze beider Gebiete liegt Celebes, dessen merkwürdige äußere Form noch immer ein ungelöstes Rätsel ist. Am Südwestzipfel der Insel bildet Makassar den wichtigsten Einfuhr- und Ausfuhrhafen des ganzen östlichen Archipels. Der Hafen wird geschützt durch vorgelagerte niedrige Koralleninseln, welche wie Buketts von Kokospalmen aus dem Meere aufsteigen. Die Fischerbevölkerung der Buginesen und Mandaresen wohnt auf diesen kleinen Inselchen dicht zusammengedrängt, so daß etwa 1000 Einwohner auf den Quadratkilometer entfallen. Aus der Küstenebene im Osten von Makassar ragen tertiäre Korallenriffe in pittoresken Formen empor, und Strandlinien finden sich bis zu 150 m Höhe. Im Hintergrund der Küstenebene zieht sich das Gebirge nordwärts bis in das Land der Toradja hinein und bildet dort hohe Gipfel, über welche nach der Legende die Ahnen dieses Stammes vom Himmel herabgestiegen sind. Heute werden an den steilen Wänden der Berge die Toten in Grabkellern beigesetzt, welche die Eingeborenen in den Felsen ausmeißeln. Bewundernswert ist die meisterhafte Architektur der Wohnhäuser, deren Formen sich wirkungsvoll dem Landschaftscharakter einfügen. Sie sind überaus reich mit schönen, geschnitzten Ornamenten verziert. Auch der Stil der Brückenbauten und der Reisscheunen ist kunstvoll dem der Häuser nachgeahmt bzw. angepaßt. Kulturelle Merkmale und soziale Struktur lassen erkennen, daß die Toradja ein Mischvolk sind, das auf 4 Bevölkerungsschichten und 3 Einwanderungen beruht. Die erste Einwanderung brachte die Steinhauer in das Land, welche mit der Urbevölkerung verschmolzen. Von ihnen wurden Monolithe, Töpferei, Bronze und Hirseanbau eingeführt. Den Getreidebau kannten die ursprünglichen Bewohner damals noch nicht. Ihre Waffen waren Pfeil und Bogen, die Kleidung bestand aus geklopfter Baumrinde, die übrigens noch heute in abgelegenen Teilen des Gebirges Verwendung findet. Der zweite Einwanderungsstrom kam von Süden her und brachte den Reisbau, sowie eiserne Geräte. In den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung erfolgte dann die dritte Einwanderung durch die Aristokraten, ein Herrenvolk, das sich bis zur Gegenwart ziemlich rein erhalten hat und dem die Fürstengeschlechter entstammen. Sie verbesserten die Methoden des Reisbaues durch künstliche Bewässerung. Bei den Toradja lassen sich zwei Gruppen unterscheiden, welche durch das Wort, mit dem sie die Verneinung bezeichnen, charakterisiert sind. Die eine Gruppe bewohnt das Gebiet des Posso-Sees, die andere das Flußgebiet des Sadang. Bei ihnen erforschte der Vortragende namentlich diejenigen Stämme, welche auf dem 1100 m hohen, von Vulkanen umgebenen Plateau von Rantepao wohnen. In dieser farbenreichen Landschaft wirkt der Gegensatz des frischen Grüns der Pflanzen zu den weißen Kalkfelsen unter den grellen Strahlen der Tropensonne besonders malerisch, und die üppige Kraft der Vegetation läßt überall schnell neues Leben aus den abgestorbenen Stämmen entstehen. Aber während in der Natur hier Tod und Auferstehung dicht beieinander liegen, macht es tiefen Eindruck auf die Toradja, daß der Mensch, die Krone der Schöpfung, dieser körperlichen Erneuerung nicht teilhaftig wird. Dieses Rätsel bildet den Kristallisationspunkt für ihre ganze geistige Kultur, und sie sehen daher das Leben nach dem Tode als eine Fortsetzung des Erdenlebens an. Auf solcher Einstellung beruht ihr Totenkultus, den der Vortragende eingehend studierte. Besonders ausführlich schilderte er unter Vorführung von Lichtbildern und Filmaufnahmen die Sitten und Gebräuche bei der Bestattungsfeier. Die mumifizierte

Leiche wird in einer Tragbahre, welche eine kunstvolle, verkleinerte Wiedergabe des Hauses darstellt, in feierlicher Prozession unter religiösen Tänzen zum Festplatz getragen. Die Tragefrauen schmücken sich mit Erinnerungsstücken an die Vorfahren des Verstorbenen, wie z. B. silbernen Münzen der alten ostindischen Kompanie, kostbaren Dolchen, kunstvollen Perlstickereien usw. Unter Zeremonien, an denen die von weither in großen Scharen zugeströmte Bevölkerung teilnimmt, wird die Leiche in dem an steiler Felswand angebrachten Grabkeller beigesetzt und ihr alles mitgegeben, was sie im Jenseits braucht: das Haus in Form der Totenbahre, Hut, Holzteller und andere Gebrauchsgegenstände. Da es nicht möglich ist, dem Toten auch Büffel, Kampfhähne und Schweine, die Repräsentanten seines Reichtums, mitzugeben, so werden diese auf dem Platze, an welchem das Totenfest stattfindet, in bestimmter Art getötet, damit sie dem Verstorbenen ins Jenseits folgen können. Das Fest artet daher in eine Tierschlächterei großen Maßstabes aus, und die sonst vegetarisch lebenden Toradja vertilgen dann enorme Mengen Fleisch. Die Hörner der Opferbüffel, unter denen es auch eine gefleckte Art gibt, welche nirgends sonst vorkommt, sind mit Silberschmuck verziert. Die niederländische Kolonialverwaltung ist neuerdings bestrebt, der Vernichtung großer Werte, welche mit jedem Totenfest verbunden ist, Einhalt zu tun, ohne die religiösen Gefühle der Toradja zu verletzen. In dem Felsengrab wird auch ein Holzbild des Toten beigesetzt, und alljährlich versehen die Hinterbliebenen sämtliche Holzbilder ihrer Ahnen mit neuen Kleidern, Näschereien usw.

An jedem Wohnort der Toradja sind große Monolithe aufgestellt, ähnlich den Menhirs der Kelten, welche wahrscheinlich wie das englische Stonehenge als Opferplätze zu deuten sind. Die mohammedanischen Fürstengeschlechter der Toradja gehören der Herrenrasse der Buginesen an.

Am Schluß seiner Ausführungen streifte der Vortragende noch das Bevölkerungsproblem von Java, das mit 268 Einwohnern pro Quadratkilometer das am dichtesten bewohnte Tropenland ist. Die Einwohnerzahl von 35 Millionen vermehrt sich außerdem durch natürlichen Zuwachs alljährlich noch um 300000 Menschen. Der Boden wird schon jetzt in so hohem Grade ausgenutzt, daß eine Vergrößerung der Anbaufläche nicht mehr möglich ist. Man bemüht sich daher mit Erfolg, durch Industrialisierung des Ackerbaus einem großen Teil des Volkes Existenzmöglichkeiten zu verschaffen. Unter diesen nimmt die Bambusflechterei eine hervorragende Stellung ein.

In der Fachsitzung am 21. Januar 1929 schilderte Dr. P. Woldstedt, Berlin, **das nordamerikanische Glazialgebiet nach eigenen Reisen.**

Das Areal der quartären Vergletscherung in Nordamerika umfaßt mehr als 13 Millionen qkm, ist also an Flächeninhalt etwa mit dem Südpolarkontinent vergleichbar. Die drei Hauptzentren der Vereisung sind die Halbinsel Labrador, die Keewatinregion westlich der Hudson-Bai und das Felsengebirge. Die Gletschermasse schob sich stellenweise bis $37^1/_2°$ nördlicher Breite nach Süden vor, doch erfolgten diese Vorstöße nicht zu allen Zeiten in den gleichen Gebieten. Auch liegt in den Staaten Wisconsin und Minnesota ein „driftless area", das niemals unter Eis begraben war. Wodurch die Vereisung in den beiden niedrigen östlichen Zentren, namentlich in dem nur 300—400 m hohen Keewatin-Gebiet zustande gekommen ist, steht dahin. Seltsam ist jedenfalls, daß die Gletschermasse der Keewatin-Vereisung sich, nach Westen ansteigend, bis an den Fuß des Felsengebirges erstreckt haben muß. Die Oberflächenformen, welche das Eis nach seinem Abschmelzen zurückgelassen hat, entsprechen völlig den aus Norddeutschland bekannten Alt- und Jungmoränen, Osern, Drumlins usw., und auch die Förden der Ostküste von Schleswig-Holstein finden ihr Gegenstück an der Küste von Long Island.

Die amerikanischen Geologen unterscheiden 5 Eiszeiten. Die älteste ist die Nebraskan-Vereisung, dann folgen Kansan, Illinoian, Iowan und Wisconsin, bei welch letzterer Früh-, Mittel- und Spätstadium getrennt werden. Der Rückzug des Eises gab im Osten zur Entstehung großer Stauseen Veranlassung, deren Ablagerungen einen rhythmischen Wechsel zeigen, indem während des Sommers der Sand, im Winter dagegen der Ton überwiegt. Diese sog. Bändertone sind somit den Jahresringen der Bäume vergleichbar. Der schwedische Geologe Gerard de Geer war der erste, der diese „Warwen", wie er sie nannte, in verschiedenen Profilen auszählte und sie miteinander kombinierte. Neuerdings sind solche Untersuchungen auch im nordamerikanischen Glazialgebiet ausgeführt worden, und zwar von E. Antevs, einem Schüler de Geers. Man war auf diese Weise imstande, dem Abschmelzvorgang des Inlandeises für viele tausend Jahre zu verfolgen und konnte feststellen, daß der Rückzug des Eises nicht gleichmäßig erfolgt ist. Im ganzen dürften nach Antevs von der äußersten Südlage des Eisrandes bei Long Island bis zu dessen Rückzug nach Cochrane in Kanada 28000—29000 Jahre verflossen sein.

Die Stauseen haben im Laufe dieser Zeit erheblich an Ausdehnung gewechselt. Kombiniert man die an ihren Rändern gebildeten Terrassen mit den Erdmoränen, so gewinnt man weitere Anhaltspunkte, um den Rückzug des Eises verfolgen zu können. Es zeigt sich, daß die Seeterrassen durch Hebung infolge der Entlastung von dem abschmelzenden Eise gekippt und nach Norden aufgebogen sind. Am Nordrande des Michigan-Sees liegt daher jetzt die gleiche Terrasse 60 m höher als im Süden. Die Bildung der Niagara-Schlucht zeigt deutlich, daß durch sie abwechselnd nur das Wasser des Erie-Sees und die Gesamtwassermenge auch der anderen 3 Seen abgeflossen ist.

Die älteren Grundmoränen lassen sich mit Hilfe der Verwitterungsdecken (Gumbotils), die sich an ihren Oberflächen in den Interglazialzeiten gebildet haben, gliedern. Die Nebraskan-Grundmoräne tritt überhaupt nicht an die Oberfläche. Im südöstlichen Iowa wird die aus dem Keewatin-Zentrum stammende Kansan-Grundmoräne von derjenigen des Illinoian, welche vom Labrador-Zentrum kommt, überlagert. Die Verwitterungsdecke der Kansan-Grundmoräne, die unter dem Illinoian mehrfach erbohrt ist, zeigt, daß die beiden Vereisungen durch eine Interglazialzeit getrennt sind.

Eine besondere Betrachtung widmete der Vortragende den Lößablagerungen, die in Flußtälern bis 30 m Mächtigkeit erreichen können. Während ein Teil der amerikanischen Geologen den Löß für interglazial hält, steht der Vortragende auf dem Standpunkt eines *glazialen* Alters des Lößes. Da der Löß sich während der Eiszeiten aus dem Staub der, vor dem Eisrande gelegenen, vom Winde überwehten Flächen bildet, so gestatten die Lößdecken ebenfalls eine Gliederung der Glazial- und Interglazialzeiten. Besonders wichtig sind Profile, in denen Löße zwischen Grundmoränen liegen. Meist liegt dann der Löß auf der verwitterten Oberfläche der älteren Grundmoräne, ist also von dieser durch eine Interglazialzeit getrennt. Mindestens zwei jüngere und zwei ältere Löße lassen sich heute schon in Nordamerika unterscheiden. O. Baschin.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER. Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.